

제 출 문

본 보고서를 「전파 잡음의 통신영향 평가 시뮬레이터 개발」 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2003. 12. 31.

연구책임자 : 윤 현 보 (동국대학교)

연 구 원 : 이 윤 경 (동국대학교)

허 문 만 (동국대학교)

연구보조원 : 김 상 봉 (동국대학교)

이 창 준 (동국대학교)

이 석 훈 (동국대학교)

이 정 목 (동국대학교)

요 약 문

1. 과 제 명 : 전파 잡음의 통신영향 평가 시뮬레이터 개발
2. 연 구 기 간 : 2003년 2월 1일 ~ 2003년 12월 31일
3. 연구책임자 : 윤 현 보
4. 계획 대 진도

가. 월별 추진내용

세부연구내용	연구자	월별 추진일정											비고	
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
자료 조사 및 정리	이윤경													계획
														진도
잡음 측정 시스템 프로그램 구성	허문만													
등급별 잡음 데이터 조사	이윤경													
통계적 모형 처리 프로그램 개발	허문만													
파라미터 추출 프로그램 개발	허문만													
통계적 모형 복원	허문만													

- 2) 잡음 측정 프로그램 개발
 - 측정 시스템의 구성 및 컴퓨터에 GPIB 카드 설치.
 - National Instrument 사의 GPIB 라이브러리를 이용한 스펙트럼 분석기의 제어 및 측정 프로그램 구성.
 - 측정 데이터의 저장 및 데이터 표시 프로그램 구성.

- 3) 통계적 모형 처리 프로그램 개발
 - 측정 데이터의 통계적 모형(APD) 처리 프로그램 구성.
 - 통계적 모형의 표시 프로그램 구성.

- 4) 파라미터 추출 프로그램 개발
 - 파라미터 추출 방법에 유전자 알고리즘 적용 방안 연구.
 - Massachusetts Institute of Technology 의 GA 라이브러리를 이용한 파라미터 추출 프로그램 구성.
 - 측정, 처리된 APD 와 계산된 APD 및 추출된 파라미터의 표시 프로그램 구성.

- 5) 통계적 모형 복원 프로그램 개발
 - 저장된 파라미터 파일(*.apd)을 통한 복원 방법과 파라미터 직접 입력을 통한 복원 방법 연구.
 - 잡음의 통계적 모형(APD) 복원 프로그램 구성.

6) 그래픽 사용자 환경(GUI) 개발

- 잡음의 측정, 통계적 모형 처리, 파라미터 추출, 통계적 모형 복원 등 모든 프로그램에서 사용자 편의를 고려한 그래픽 환경 디자인.
- 프로그램의 기본적인 파일 열기, 파일 저장, 화면 인쇄 기능 구성.
- Microsoft Visual C++의 MFC(Microsoft Foundation Class)를 이용한 그래픽 사용자 환경 프로그래밍 구성.

6. 기대효과

- 1) 잡음의 주파수별, 측정 지역별, 측정 시간별, 전파 환경별에 따른 다양한 잡음의 측정 및 평가 기술의 확보.
- 2) 전파 환경 측정시스템 활용성 제고.
- 3) 시스템 설계 및 안정화, 무선 통신망 설계, 전파 관리 등에서의 잡음 데이터의 효과적인 이용.
- 4) 국내 잡음 환경에 대한 데이터 베이스화 가능.

7. 기자재 사용 내역

시설 · 장비명	규격	수량	용도	보유 현황	확보 방안	비 고
스펙트럼 어널라이저	9.0 kHz ~ 2.2 GHz	1	잡음 측정용			
Notebook	Pentium IV	2	데이터 처리 프로그램 개발			
GPIB	PCMCIA	1	측정기 제어	보유		
Dipole	470 MHz ~ 1.7 GHz	1	잡음 측정용			
Loop	10.0 kHz ~ 30 MHz	1	잡음 측정용			
Log-periodic	300 MHz ~ 1.0 GHz	1	잡음 측정용			

8. 기타사항

해당사항 없음.

SUMMARY

This study is project about development of noise measurement simulator which measure noise and handle by statistical model to analyze the characteristic of electromagnetic noise. Also, this simulator extracts and saves parameters from statistical model to avoid saving enormous measured data. If it is necessary, it can recover statistical noise model with extracted parameter.

The outcome obtained by the simulator can be explained such as shortening computing time, reducing error rate, and automatic extraction substituting a genetic algorithm for a parameter extraction algorithm. Furthermore, it made everyone can adjust simulator easily and conveniently by applying graphic user interface.

Chapter 1. The prolegomenon.

Chapter 2. The overview of electromagnetic noise including definition, sort, effect, and necessary of analysis.

Chapter 3. The introduction to the algorithm and theory of noise measurement program that is part of noise measurement simulator.

Chapter 4. The introduction to the algorithm and theory of

statistical model process program.

Chapter 5. The introduction to the genetic algorithm applied on the simulator and theory of parameter extraction program.

Chapter 6. The introduction to the algorithm and theory of statistical model restoration program.

Chapter 7. The introduction to graphic user interface and its development tools.

Chapter 8. The conclusion

Additionally, user's manual of noise measurement simulator is attached in the appendix.

목 차

표 목 차	14
그림목차	15
제 1 장 서 론	17
제 2 장 전파 잡음의 개요	21
제 2-1 절 전파 잡음의 정의	22
제 2-2 절 전파 잡음의 종류	24
제 2-3 절 전파 잡음의 영향	28
제 2-4 절 잡음 분석의 필요성	31
제 3 장 잡음 측정 프로그램	33
제 3-1 절 잡음 측정 시스템 구성	34
제 3-2 절 스펙트럼 어널라이저 제어 알고리즘 ...	39
제 3-3 절 잡음 측정 알고리즘	42

제 4 장 통계적 모형 처리 프로그램	45
제 4-1 절 잡음 신호의 표현	46
제 4-2 절 잡음의 통계적 모형	54
제 4-3 절 통계적 모형 처리 알고리즘	68
제 5 장 파라미터 추출 프로그램	71
제 5-1 절 시행 착오법에 의한 파라미터 추출 ...	73
제 5-2 절 유전자 알고리즘의 개요	86
제 5-3 절 파라미터 추출 알고리즘	92
제 6 장 통계적 모형 복원 프로그램	99
제 6-1 절 잡음의 통계적 모형 복원	100
제 6-2 절 통계적 모형 복원 알고리즘	101
제 7 장 그래픽 사용자 환경 프로그램	103
제 7-1 절 그래픽 사용자 환경 개발 도구	105
제 7-2 절 잡음 측정 시뮬레이터의 사용자 환경	107

제 8 장 결 론	111
참 고 자 료	113
부 록 잡음 측정 시뮬레이터 사용 설명서	117

표 목 차

표 2-1	전파 잡음의 발생원에 따른 분류	.....	24
표 2-2	전파 잡음의 성질에 따른 분류	.....	26
표 4-1	잡음 신호를 표현하는 파라미터	.....	46
표 4-2	잡음 신호의 통계적 모형	.....	56
표 5-1	임펄스성 전파 잡음의 등급	.....	73
표 5-2	등급별 잡음의 종류	.....	74

그 립 목 차

그림 2-1	무선호출 신호의 스펙트럼	29
그림 2-2	자동차 점화계통의 잡음이 첨가된 무선호출 신호 스펙트럼	29
그림 3-1	잡음 측정 시스템의 구성	34
그림 3-2	3 축 SIP 안테나의 구조	35
그림 3-3	잡음 측정 알고리즘	42
그림 3-4	측정된 잡음의 파형(1200 개 추출)	43
그림 4-1	시간에 따른 잡음 신호의 변화 예	64
그림 4-2	통계적 모형 처리 알고리즘	68
그림 4-3	계산된 진폭 확률 분포	69
그림 5-1	협대역 수신기에 대한 잡음의 분류	75
그림 5-2	구형 펄스에 대한 IF 증폭기의 출력 응답	75
그림 5-3	A 급 잡음에 대한 확률 분포	79
그림 5-4	B 급 잡음에 대한 확률 분포	82
그림 5-5	유전자 알고리즘의 기본 구조	90

그림 5-6	유전자 알고리즘의 파라미터 인코딩 과정	93
그림 5-7	유전자 알고리즘의 염색체 구조	93
그림 5-8	유전자 알고리즘의 초기 집단 구성	94
그림 5-9	유전자 알고리즘의 교배 과정	95
그림 5-10	파라미터 추출 결과	97
그림 6-1	확률모형 복원 프로그램의 순서도	101
그림 6-2	확률모형 복원의 결과	102
그림 7-1	잡음 측정 시뮬레이터의 초기 화면	107
그림 7-2	잡음 측정 프로그램의 초기 화면	108
그림 7-3	확률모형 복원 프로그램의 초기 화면	109

제 1 장 서 론

전파 잡음은 자연적 또는 인공적으로 항상 존재하는 잡음으로, 특히 가정용, 산업용, 과학용, 의료용 전기전자 장치에서 발생하는 비의도성 전파 잡음은 현대 사회가 고도로 발전함에 따라 증가하고 있으며, 이러한 전파 잡음은 인간 생활에 편리한 무선통신에 혼신, 잡음, 통화단절 등의 심각한 문제를 야기하고 있다^[1].

이러한 비의도성 전파 잡음은 광대역에서 분포하는 임펄스성 잡음으로 측정 주파수, 시간, 지역, 전파 환경 등에 따라 변화하는 매우 랜덤한 데이터이기 때문에, 그 특성을 정확하게 분석하는 것은 거의 불가능한 일이다. 그러므로 랜덤한 전파 잡음을 여러 가지 통계적 모형으로 표현하여, 그 특성을 확률적으로 분석하는 방법이 현재까지 활발하게 연구되어 왔다^{[6]~[8]}.

또한 확률적 분석과 더불어 잡음의 통계적 모형으로부터 핵심 파라미터를 추출하여 저장함으로써, 방대한 측정 데이터 저장하는 것을 지양하고 잡음 데이터의 DB 화를 가능하게 하여 전파 잡음의 측정 데이터를 효과적인 이용할 수 있게 하는 연구도 진행되어 왔다.

지금까지는 전파 잡음을 임의의 협대역 수신기와 비교하여 잡음의 대역폭 특성에 따라 A 급, B 급, C 급으로 분류하고, 각각의 등급에 따라 통계적 모형으로 계산하여 그 등급별 통계적 모형으로부터 파라미터를 시행착오 (trial and error)법으로 추출하였다. 이러한 방법은 1960년대 중반에 Middleton 이 제안한 방법으로, A 급 잡음은 3 개의 파라미터, B 급 잡음은

6 개의 파라미터, C 급 잡음은 우세 잡음의 파라미터를 추출하는 것이다 [4]~[5].

그러나 본 연구에서 파라미터 추출 방법으로 유전자 알고리즘을 적용하여 잡음의 등급 구별없이 7 개의 잡음 파라미터를 추출하는 방법을 사용하였다. 유전자 알고리즘을 적용한 파라미터 추출 방법은 기존 시행착오법에 비해 파라미터 추출의 자동화가 가능하고 계산 시간을 절약할 수 있으며 국부 최적화(local optimization)가 아닌 전역 최적화(global optimization)를 실행할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

본 연구에서 개발된 전파 측정 시뮬레이터는 크게 두가지의 프로그램으로 구성된다. 하나는 스펙트럼 어널라이저를 제어하여 잡음의 파형을 측정하고 측정된 잡음 데이터로부터 잡음의 통계적 모형을 계산하며 계산된 통계적 모형으로부터 잡음의 파라미터를 추출하는 잡음 측정 프로그램과 다른 하나는 추출, 저장된 잡음 파라미터로부터 잡음의 통계적 모형을 복원하는 확률모형 복원 프로그램이다.

그리고 잡음 측정 시뮬레이터에 그래픽 사용자 환경(graphic user interface)을 적용하여 간단한 마우스 조작과 키보드 입력으로 시뮬레이터를 실행할 수 있도록 하고, 잡음 측정, 통계적 모형 처리, 파라미터 추출, 파라미터 복원 등의 일련의 과정을 순차적으로 실행하도록 프로그램을 구성하여 초보자라도 쉽게 시뮬레이터를 조작할 수 있도록 하였다.

잡음 측정 시뮬레이터는 Microsoft 사의 Visual C++ 6.0 을 사용하여 개발되었으며, 잡음 측정을 위한 스펙트럼 어널라이저의 제어는 National Instrument 사에서 제공하는 GPIB 라이브러리를 사용하였다. 그리고

파라미터 추출을 위한 유전자 알고리즘은 Massachusetts Institute of Technology 의 공개 GA 라이브러리를 사용하였으며, 그래픽 사용자 환경의 구성을 위해서는 MFC (Microsoft Foundation Class) 라이브러리를 사용하였다.

본 연구보고서는 전파 잡음의 정의, 종류, 영향, 필요성 등의 일반적인 전파 잡음의 개요에 대해서 설명하고, 잡음 측정 시뮬레이터를 구성하는 잡음 측정 프로그램, 통계적 모형 처리 프로그램, 파라미터 추출 프로그램, 통계적 모형 복원 프로그램에 대한 각각의 알고리즘 및 실행 과정을 설명하였다. 특히 파라미터 추출 방법으로 사용한 유전자 알고리즘의 일반적인 이론에 대하여 자세히 설명하였으며, 파라미터 추출에 적용하는 방법에 대해 설명하였다. 그리고 그래픽 사용자 환경에 대하여 간략하게 설명하고, 끝으로 잡음 측정 시뮬레이터를 효과적으로 사용할 수 있도록 사용 설명서를 부록으로 첨부하였다.

제 2 장 전파 잡음의 개요

제 2 장에서는 잡음 측정 시뮬레이터의 개발 목적인 전파 잡음의 측정과 관련하여 전파 잡음의 정의, 종류, 영향 등의 일반적인 전파 잡음의 개요와 전파 잡음 분석의 필요성에 대하여 간략하게 설명한다^{[1]~[3]}.

제 2-1 절 전파 잡음의 정의

전자파 잡음 또는 전파 잡음(electromagnetic noise)은 무선 잡음(radio noise)의 한 종류로서, 무선 잡음은 ANSI(American National Standards Institute)에서 「무선 주파수대역을 갖는 잡음」으로 정의하고 있다. 이러한 무선 잡음은 다음과 같이 분류된다.

1. 복사성 무선 잡음

발생원으로부터 전자파의 형태로 공간으로 복사되어 전파되는 무선 잡음이다. 예) 전송선로 상의 코로나원에 의해서 발생하는 불요 전자파.

2. 전도성 무선 잡음

전기적 접촉을 통하여 발생원으로부터 전도되어 전달되는 무선 잡음이다.

3. 전자파 잡음 (전파 잡음)

희망 신호에 중첩될 수 있으며, 무선 주파수 범위 내에 있는 잡음이다. 이 규격의 목적을 위해서 정현파 특성의 전자파 장애도 무선 잡음으로 간주한다. 또한, 전파 잡음은 IEC(International Electrotechnical Vocabulary)에서 「명백히 정보를 전하지 않고, 희망 신호에 중첩 또는

결합될 가능성이 있는 시간적으로 변하는 전자파 현상」으로 정의하고 있다.

제 2-2 절 전파 잡음의 종류

1. 발생원에 따른 분류

자연적 또는 인공적으로 발생하는 전파 잡음은 발생원에 따라 [표 2-1]과 같이 분류된다^[9].

[표 2-1] 전파 잡음의 발생원에 따른 분류.

발생원에 따라	자연 잡음 (natural noise)	우주 잡음 (cosmic noise)	태양 잡음 (solar noise)
			은하 잡음 (galactic noise)
	대기 잡음 (atmospherics noise)		
	인공 잡음 (man-made noise)		
	열 잡음 (thermal noise)		

가. 자연 잡음

발생원이 자연 현상에 있고, 사람이 만든 기기에서 발생하지 않는 전파 잡음이다.

(1) 우주 잡음 : 우주에는 태양 외에 전파를 방사하는 천체가 많이 있는데, 이와 같이 태양과 천체로부터 나온 전파를 모두 우주 전파 또는 우주 잡음이라 한다. 현재도 미터파 영역에서 관측되고 있다.

(가) 태양 잡음 : 태양에서 복사되는 전기적 잡음으로 태양계의 다른 별들로부터 방사되는 전기적 잡음도 있으나 태양 잡음이 가장 강하다.

(나) 은하 잡음 : 빛으로 보이는 은하와 거의 일치한 부분에서 강력한 잡음 전파가 방사되는데 이것을 은하 전파 또는 은하 잡음이라 한다.

(2) 대기 잡음 : 지구 대기 내에서 자연 방전으로 인하여 발생하는 전기적 잡음이다. 대기 및 전리층에 의한 열 잡음, 공전 잡음 및 빗방울, 모래 섞인 먼지, 눈보라 등에 의한 침적(沈積) 잡음 등을 들 수 있는데 공전 잡음이 가장 강하다.

나. 인공 잡음

인간이 사용하는 기계 기구에 의해 발생하는 일체의 잡음으로 자동차의 스파크 플러그, 형광등이나 고주파 가열 장치, 초고압 송전선에서 나오는 코로나 등이 있다. 이러한 잡음의 전체 강도는 인구 밀집 지역이나 공업 지대에서 매우 크다.

다. 열 잡음

수신기, 전송 선로 혹은 전파 매체 내에서 열교란에 의해 발생하는 잡음이다. 열 에너지에 의해 발생하는 것이므로 온도가 높을수록 잡음

전압이 커지며 주파수 분포가 넓은 범위에 이른다. 저항기에서 많이 발생하며 기기 내부 잡음의 주요한 원인이 된다.

2. 성질에 따른 분류

자연적 또는 인공적으로 발생하는 전파 잡음은 성질에 따라 [표 2-2]과 같이 분류된다^[9].

[표 2-2] 전파 잡음의 성질에 따른 분류.

성질에 따라	임펄스성 잡음 (impulsive noise)
	연속성 잡음 (continuous noise)
	주기성 잡음 (periodic noise)

가. 임펄스성 잡음

회로의 입력 측에서 전송하지 않지만 출력 측에 나타나는 펄스로, 이러한 펄스는 보통 내부 회로, 회로의 외부 및 회로와 관련된 입출력 장비로부터 야기된다.

나. 연속성 잡음

각 잡음 펄스의 발생 빈도가 대단히 높기 때문에 그 잡음이 각각의 펄스로 구분될 만큼 중첩된 연속파로 관측되는 잡음이다.

다. 주기성 잡음

파형이 정현파에 가까운 주기성을 갖는 잡음으로 전화 회선에서는 전원 회로에서 발생하는 험(hum) 잡음과 강전류 시설에서 오는 정전적, 전자적인 결합에 의한 전송 선로에 대한 유도 잡음이 있다. 캐리어 누설은 주기성 잡음의 일종이며 사진 전송과 팩스에서는 화면에 줄무늬가 생기기도 한다.

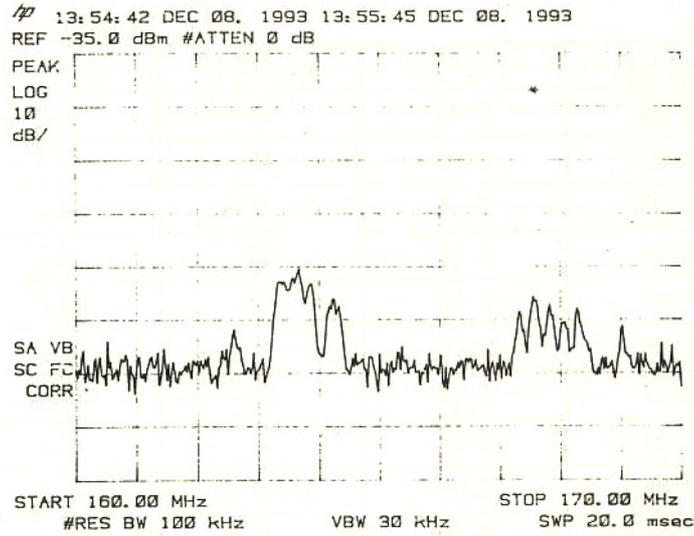
이러한 전파 잡음의 분류에서 우리가 관심을 갖는 전파 잡음은 발생원에 따른 분류에서 인공 잡음, 성질에 따른 분류에서는 임펄스성 잡음이다.

제 2-3 절 전파 잡음의 영향

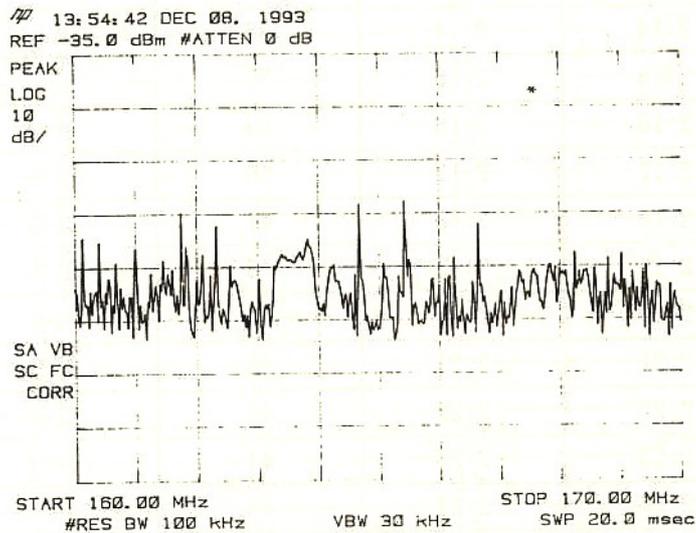
앞에서 설명한 바와 같이 임펄스성 전파 잡음은 매우 랜덤한 데이터이기 때문에 전파 잡음이 통신에 미치는 영향을 정량적으로 분석하기는 매우 어렵다. 다만 전파 잡음은 아날로그 시스템의 경우 클릭음과 같은 불쾌한 음을 동반한다거나, 디지털 시스템의 경우 전파의 페이딩 현상과 결합되어 burst bit error 의 발생 등 보다 심각한 문제를 야기시킬 수 있다고 알려져 있다.

전파 잡음이 통신에 미치는 영향은 보통 어떤 잡음 환경하에서 통신의 수신 오류를 측정하는 실험적 방법을 통해서 분석되어 왔다. 다음은 자동차 점화계통의 잡음(인공 잡음, 임펄스성 잡음, B 급 잡음)이 무선호출 통신에 미치는 영향을 실험적으로 분석한 결과이다. 이 결과는 1994 년에 실험한 결과를 인용한 것이다^[4].

먼저 다른 잡음의 영향을 최소화할 수 있는 터널 내에서 자동차가 지나가지 않을 때와 자동차가 분당 약 50 대 지나갈 때의 무선호출 신호와 자동차 점화계통 잡음의 레벨을 측정하여 그림 2-1 과 그림 2-2 에 나타내었다.



[그림 2-1] 무선평출 신호의 스펙트럼.



[그림 2-2] 자동차 점화계통의 잡음이 첨가된 무선평출 신호 스펙트럼.

그림에서 보듯이 자동차 점화계통의 잡음은 전 주파수 대역에서 발생하는 B 급 잡음으로, 무선평출 신호 레벨보다도 약 5 dB 높은 경우도 있기 때문에

무선호출 신호의 수신 오류를 높일 가능성을 가지고 있다. 수신 오류를 측정하기 위해서, 측정 장소인 터널 안의 무선호출기를 1 분 간격으로 62 회 호출한 결과, 양호한 수신이 16 회, 수신은 되나 데이터가 파괴된 경우는 2 회, 수신되지 않는 경우가 44 회로 약 74%의 수신 오류가 발생하였다.

그러나 이러한 실험은 특정 시간, 특정 장소, 특정 전파 환경하에서 자동차 점화계통의 전파 잡음이 무선호출에 미치는 영향을 실험한 것으로 일반적인 상황에 적용하는 것은 타당하지 않다. 또한 이러한 데이터로 통신영향을 평가하기 위해서는 시간, 장소, 전파 환경에 따른 잡음의 스펙트럼 등의 매우 방대한 데이터를 확보해야 함으로 효율성이 떨어진다.

그러므로 전파 잡음의 통신 영향을 평가하기 위해서는 무엇보다도 랜덤한 전파 잡음을 측정하여, 정량적이고 적은 양의 데이터로 표시하는 방법에 대한 연구가 선결되어야 한다.

제 2-4 절 잡음 분석의 필요성

전파 잡음을 분석하는 이유는 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 첫째는 전파 잡음을 분석하여 그 잡음원을 원천적으로 없애는 것이다. 그러나 자연 잡음이나 열 잡음은 없애는 것이 불가능하며, 인공 잡음의 경우에도 그 잡음원이 생활에 필요한 전기전자 기기가 대부분이므로 잡음원을 없애는 것이 쉽지 않다. 그러므로 두 번째 이유로 어떤 전파 잡음을 견딜 수 있는 시스템의 설계 및 성능 개선을 함으로써 통신 서비스의 품질을 향상 시키는 것이다.

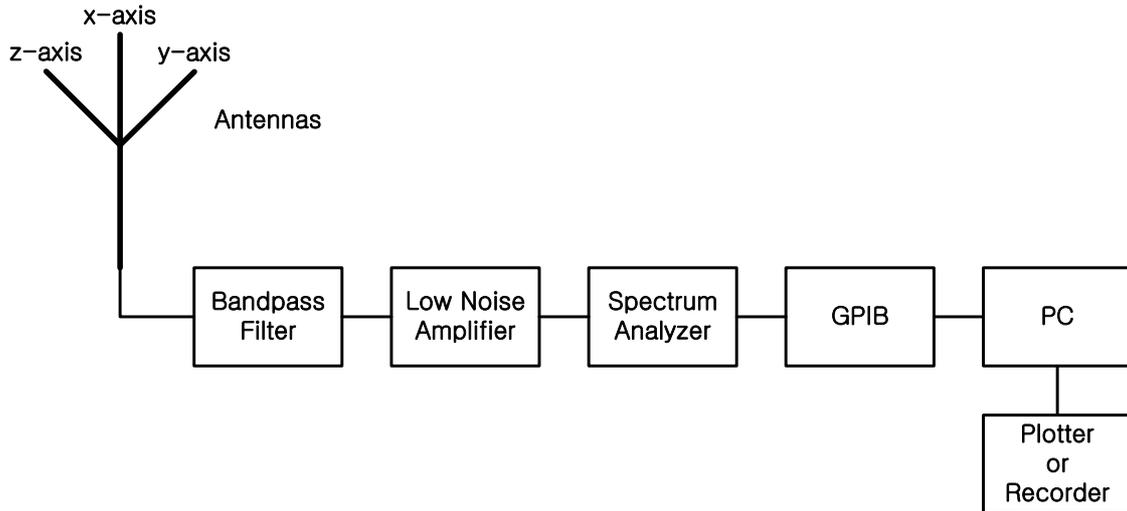
제 3 장 잡음 측정 프로그램

본 연구에서 개발된 전파 잡음 시뮬레이터는 크게 두 가지의 프로그램으로 구성된다. 하나는 잡음을 측정하여 통계적 모형으로 처리하고 그 통계적 모형으로부터 파라미터를 추출, 저장하는 잡음 측정 프로그램이고, 다른 하나는 추출, 저장된 파라미터로부터 잡음의 통계적 모형을 복원하는 확률모형 복원 프로그램이다. 본 전파 잡음 시뮬레이터의 핵심은 랜덤 데이터인 잡음을 측정하여 목적에 맞게 여러 가지 계산 및 처리과정을 거치는 것으로, 잡음을 측정하는 것이 잡음 측정 시뮬레이터의 핵심 기능이라고 말할 수 있다.

제 3 장에서는 잡음을 측정하기 위한 잡음 측정 시스템의 구성과 그 구성에 대하여 자세히 설명하였다. 또한 측정 시스템의 자동화를 위해서 컴퓨터가 어떻게 스펙트럼 어널라이저를 제어하는 지, 그 알고리즘에 대해 간단히 설명하고, 본 연구에서 개발된 잡음 측정 시뮬레이터가 스펙트럼 어널라이저를 통해서 잡음을 측정하는 알고리즘에 대하여 설명하였다.

제 3-1 절 잡음 측정 시스템 구성

일반적인 잡음 측정 시스템은 그림 3-1 과 같은 장비 구성을 갖는다.

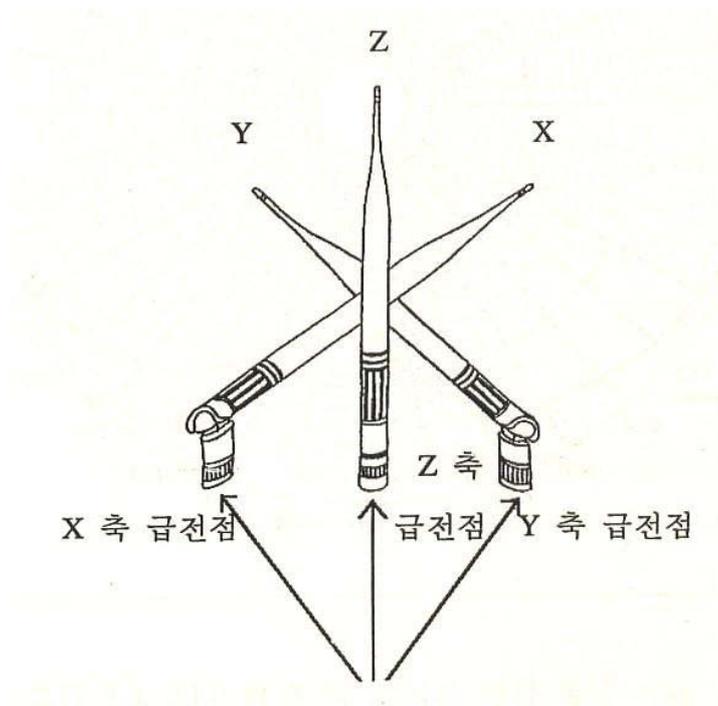


[그림 3-1] 잡음 측정 시스템의 구성.

본 연구에서 개발된 잡음 측정 시뮬레이터는 PC 에 설치되고, GPIB 카드를 통해서 스펙트럼 어널라이저를 제어하여 잡음을 측정하게 된다. 측정된 잡음은 목적에 따라 통계적 모형으로 처리되고, 그 통계적 모형으로부터 잡음의 파라미터를 추출하여 필요에 따라 통계적 모형으로 복원할 수 있도록 저장되는 것이다. 그림 3-1 에서 각각의 장비의 용도는 다음과 같다.

1. 안테나 (antenna)

안테나는 잡음 측정 데이터의 편파면에 대한 정확성을 유지하기 위해서 x, y, z 편파를 동시에 측정할 수 있도록 3 축 SIP(synthesized isotropic probe) 안테나를 사용한다. SIP 안테나는 그림 3-2 에서 보듯이 다이폴 형태의 안테나 3 개를 x, y, z 축상에 직교시켜 전자파 환경상의 x, y, z 전계 성분을 동일 위치에서 동시에 혹은 순차적으로 측정할 수 있는 등방성 프로브이며, 각각의 안테나 소자는 50 Ω 의 임피던스를 갖는다. 이 때 각각의 안테나는 전자기적으로 완전히 격리되어 서로간의 투명성 (transparent)을 유지하여야 한다.



[그림 3-2] 3 축 SIP 안테나의 구조.

2. 대역통과 필터 (bandpass filter)

환경 잡음과 같이 잡음을 측정하고자 하는 전파 환경이 실제 무선통신 및 전자전기 기기와 같이 다양한 잡음원에 노출되어 있으면, 잡음을 측정하고자 하는 주파수 외의 강한 잡음 신호가 시스템 내부적으로 IMD(inter-modulation distortion)를 발생시키게 된다. 이는 측정하는 잡음에 데이터에 영향을 미칠 가능성이 있으며, 이것을 제거하기 위해서 대역통과 필터를 사용한다.

3. 저잡음 증폭기 (low noise amplifier)

측정하고자 하는 주파수에서 잡음 신호가 스펙트럼 분석기의 열잡음에 비해 상대적으로 적을 경우나, 잡음 발생원으로부터 매우 먼 거리에 있게 되어 상대적으로 낮은 전력의 전파 잡음이 측정되어 정확한 측정이 불가능할 경우에는 저잡음 증폭기를 사용하여 잡음 신호의 세기를 일정 수준 증폭한다.

4. 스펙트럼 어널라이저 (spectrum analyzer)

잡음 측정 시뮬레이터의 제어 신호를 받아서 실제 잡음 신호의 세기를 측정하는 잡음 측정 시스템의 가장 중요한 장비이다. 앞에서 언급했듯이 잡음은 매우 랜덤한 데이터이기 때문에 통계적 모형으로 처리해야 하며,

더욱 정확한 통계적 모형을 위해서는 상당히 많은 반복 측정이 시행되어야 한다. 그러므로 스펙트럼 어널라이저의 성능, 특히 sweep time 에 따라 반복 측정 시간이 결정된다. 또한 잡음 측정 시뮬레이터는 전 주파수 범위에서 동작하도록 개발되었기 때문에 잡음을 측정할 수 있는 주파수범위 또한 스펙트럼 어널라이저의 성능에 따라 결정된다^[20].

5. GPIB (general purpose interface bus)

컴퓨터와 스펙트럼 어널라이저를 연결하여 제어 신호 및 측정 데이터를 전달하기 위한 외부 버스의 일종으로, 일반적으로 약어로 불리며 ‘범용 인터페이스 버스’ 라고도 한다. 스펙트럼 어널라이저를 잡음 측정 시뮬레이터로 제어하거나 역으로 스펙트럼 어널라이저로 측정된 데이터를 컴퓨터에 보내는 명령은 GPIB 카드의 제조사가 제공하는 라이브러리를 사용하여 구성된다. 그러므로 GPIB 카드에 따라 잡음 측정 시뮬레이터의 동작이 결정되며, 본 연구에서는 National Instrument 사의 GPIB 카드에서 동작하도록 잡음 측정 시뮬레이터를 개발하였다. 그러나 GPIB 카드에 사용되는 라이브러리는 IEEE-488.2 에서 규정하는 표준으로 본 연구에서 개발된 잡음 측정 시뮬레이터는 다른 회사가 만든 GPIB 카드라도 대부분 제대로 동작할 것이다.

6. 기타

기타 잡음 측정 시스템을 구성하는 장비로는 잡음 측정 시뮬레이터가 설치되어 측정된 잡음 데이터를 목적에 맞게 처리하는 노트북 또는 데스크톱과 측정, 처리된 데이터를 기록하는 플로터(plotter 또는 printer) 및 하드 디스크나 플로피 디스크와 같이 데이터를 저장하는 레코더(recorder)가 있다.

제 3-2 절 스펙트럼 어널라이저 제어 알고리즘

컴퓨터를 통한 스펙트럼 어널라이저의 제어는 GPIB (general purpose interface bus) 카드를 통하여 이루어 진다. GPIB 는 범용 인터페이스 버스라고 불리우며 IEEE-488.2 표준에서 규정하고 있다^[17].

1. GPIB 의 개념 및 규격

GPIB 는 기본적으로 TTL 계를 기준으로 부(-)논리를 사용하며, 데이터는 1Byte 의 ASCII 코드 형태로 전송되고 8 번째 비트는 parity 체크 비트로 사용한다. 각 장치간의 신호 전송은 병렬 형태의 비동기 확인 방식인 handshake 를 사용하고, 접속 형태는 선형(linear) 또는 스타형(star) 구조로 접속된다. 접속할 수 있는 기기들의 최대 개수는 15 기기이고, 각 기기 간의 케이블 길이는 2m 이내로 제한되며, 또한 전체 케이블 길이도 최대 20m 까지로 제한된다. 그리고 전송 속도는 최대 1MByte/sec 이지만 실제로는 접속하는 기기중에서 가장 느린 속도를 갖는 기기의 전송 속도에 맞추어서 동작한다. 인터페이스로서의 구조는 8 개의 데이터 라인(DIO 1~8), 3 개의 handshake 라인(DAV, ATN, SRQ, REN, EOI), 5 개의 인터페이스 제어 라인(IFC, ATN, SRQ, REN, EOI), 그리고 8 개의 그라운드 라인 등 총 24 개의 신호선으로 되어 있다.

이 버스 라인들중에서 복수의 기기에서 데이터의 교환을 확실히 하기 위해서 handshake 버스 라인이 있는데, 이는 데이터, 어드레스, 커맨드

등의 모든 1 Byte 에 대하여 행해진다. 커맨드가 전송되는 동안에는 컨트롤러가, 데이터가 전송되는 동안에는 talker 가 각각 DIO 와 DAV 라인을 구동하는 것을 source handshake 라 하고, 수신측의 나머지 기기와 linstener 들은 NRFD 와 NDAC 라인을 구동하는 것을 acceptor handshake 라 한다.

2. 장치 메시지 형식

장치 메시지란 컴퓨터와 스펙트럼 어널라이저 사이에 송신되는 데이터 메시지를 말하며 이것은 컴퓨터에서 스펙트럼 어널라이저로 전송되는 프로그램 메시지와 스펙트럼 어널라이저에서 컴퓨터로의 응답 메시지로 구분된다. 프로그램 메시지에는 프로그램 명령어와 프로그램 질의(query)의 두가지 형태가 있으며, 프로그램 명령어는 스펙트럼 어널라이저의 파라미터를 설정하고 처리하도록 지시하는 것이고 프로그램 질의는 파라미터 값이나 측정 결과를 묻는 것이다.

프로그램 메시지를 컴퓨터의 잡음 측정 시뮬레이터에서 스펙트럼 분석기로 송신하기 위해서 “send”문을 이용하며, 제어를 위한 프로그램 메시지와 컴퓨터-스펙트럼 어널라이저 간의 메시지 전송을 끝내기 위한 프로그램 메시지 종료문자로 구성된다. 또한 프로그램 메시지는 프로그램 헤더와 프로그램 데이터로 구성되어 있으며, 그 사이는 공백문자(space)로 구분하게 된다. 프로그램 데이터는 문자열 데이터와 수치 데이터로 구분되며 수치 데이터는 다시 정수 형식과 고정 소수점 형식으로 구분된다.

대표적인 장치 메시지의 형식은 다음과 같다.

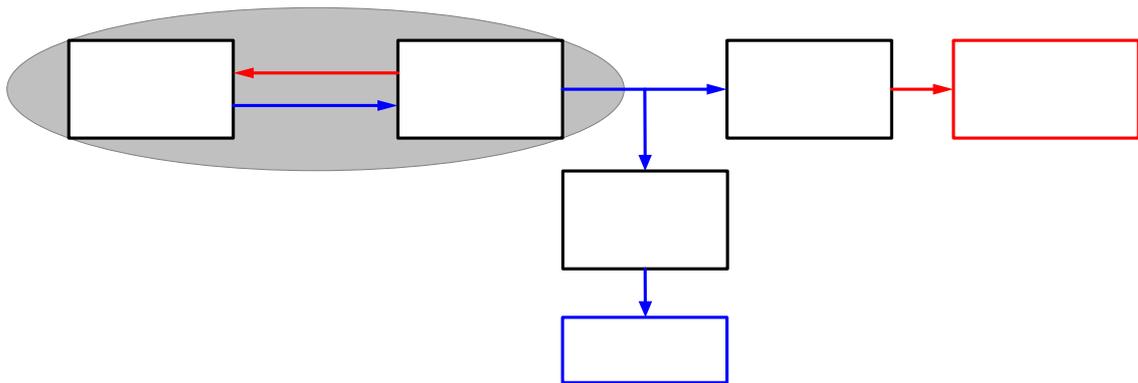
가. IEEE-488.2 에서 규정하고 있는 공통 명령어의 프로그램 헤더는 항상 별표(*)로 시작된다.

나. 여러 개의 프로그램 메시지 단위가 세미콜론으로 구분되어 연속으로 출력된다.

다. 프로그램 질의(query)의 프로그램 헤더는 항상 의문부호(?)로 끝난다.

제 3-3 절 잡음 측정 알고리즘

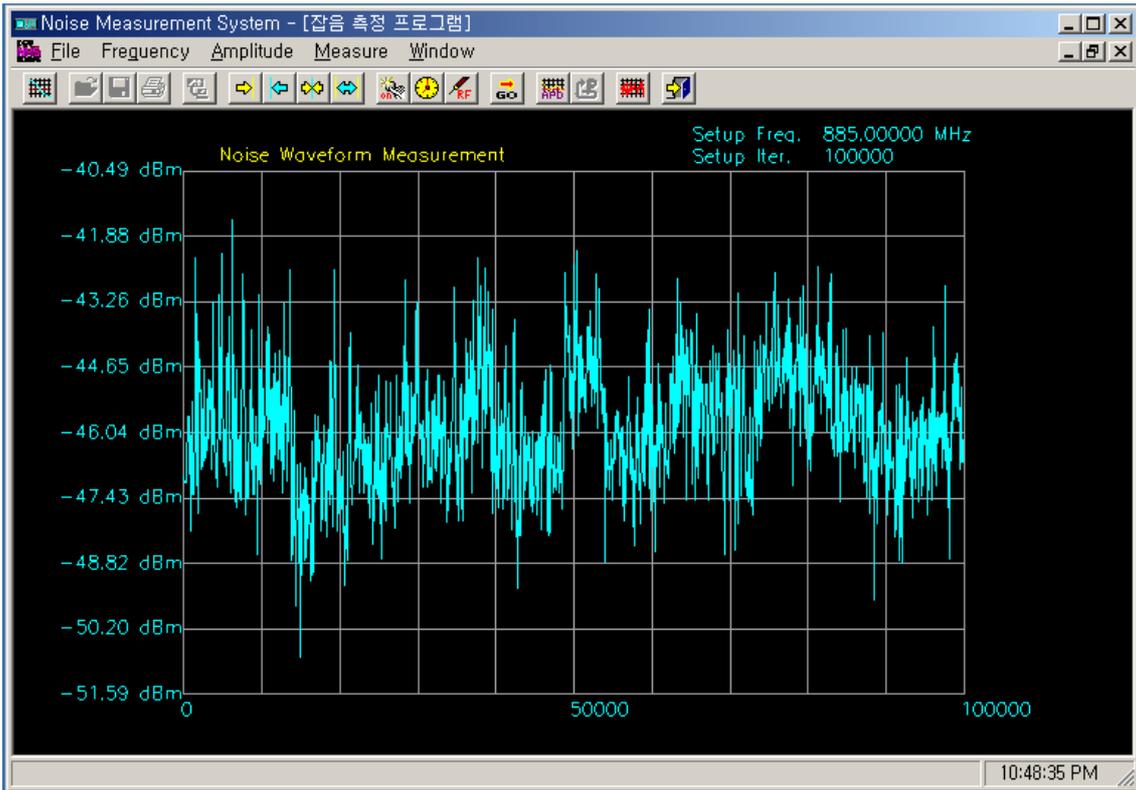
본 연구에서 개발된 잡음 측정 시뮬레이터의 잡음 측정 알고리즘은 그림 3-3 과 같다.



[그림 3-3] 잡음 측정 알고리즘.

잡음 측정 시뮬레이터는 GPIB 카드를 통해서 스펙트럼 어널라이저에 제어 신호를 송신하며, 스펙트럼 어널라이저에서 측정된 잡음 신호의 데이터를 수신한다. 잡음의 특성상 정확한 통계적 모형을 위해서는 많은 반복 측정이 이루어져 하며, 이렇게 반복 측정된 잡음 데이터는 잡음 시뮬레이터의 다음 단계인 통계적 모형 처리를 위해서 임시 메모리에 저장된다.

그리고 잡음의 파형을 모니터 화면에 표시하기 위해서 반복 측정된 잡음 데이터 중에서 일정 간격으로 1200 개의 데이터를 추출하여, 잡음 측정 단계가 끝나면 이것을 그림 3-4 와 같이 모니터에 표시하게 된다.



[그림 3-4] 측정된 잡음의 파형 (1200 개 추출).

그림 3-4 는 100,000 번의 반복 측정을 시행한 것이며, 이 중에서 약 80 번 간격으로 데이터를 추출하여 총 1200 개의 데이터를 모니터에 표시한 것이다. 여기서 1200 개는 모니터의 해상도를 1280×768 로 설정하는 경우 표시할 수 있는 최대의 수직 픽셀선이다.

앞에서 언급했듯이 잡음은 매우 랜덤한 데이터이기 때문에 잡음의 파형은 큰 의미가 없으므로, 모든 측정된 잡음 데이터를 모니터에 표시하거나 저장할 필요는 없다. 다만 잡음을 통계적 모형으로 처리하기 위해서는 모든 측정된 데이터가 필요하므로, 이것을 임시 메모리에 저장하여 다음 단계인 통계적 모형 계산에서 사용하는 것이다.

제 4 장 통계적 모형 처리 프로그램

전파 잡음의 발생원에 따른 분류에서 자연 잡음은 자연 현상에 의해 발생하는 잡음으로 불가피한 잡음이며, 열잡음과 같이 확률밀도가 가우스성인 잡음은 그 순시값이 현저히 크지 않으면 통신에 큰 영향을 미치지 않는다. 하지만 인공 잡음은 대부분 임펄스성 잡음으로 아날로그 통신에 있어 단속(click)의 원인이 되며, 특히 디지털 통신에 있어서는 burst bit error 를 발생시켜 전송정보를 파괴시키는 주 원인이 된다^{[2]~[3]}.

그런데 이러한 임펄스성 잡음은 매우 복잡한 형태로 나타나기 때문에 모든 상황에 맞는 특정한 하나의 모형이나 수식으로 나타내기 어렵다. 따라서 임펄스성 잡음은 그 잡음을 측정된 데이터로부터 구해진 확률적 모형으로부터 잡음의 특성을 해석하는 것이 합리적인 것이다.

제 4 장에서는 잡음 신호를 표현하는 여러가지 파라미터에 대해서 설명하고 다양한 통계적 모형에 대한 설명과 계산 방법을 설명하였다. 또한, 본 연구에서 개발된 잡음 측정 시뮬레이터에 적용된 잡음의 통계적 모형 처리 알고리즘에 대해 설명한다.

제 4-1 절 잡음 신호의 표현

잡음 신호를 표현하는 여러가지 파라미터는 다음과 같다.

[표 4-1] 잡음 신호를 표현하는 파라미터.

- 평균 전압 (average or mean envelope voltage : V_{avg})
- 첨두 전압 (peak voltage : V_{peak})
- 유효 전압 (root mean square voltage : V_{rms})
- 준첨두 전압 (quasi peak voltage : V_{qp})
- 평균 대수 전압 (average logarithm of envelope voltage : V_{log})
- 전압 편차 (voltage deviation, impulsiveness ratio index : V_d)
- 평균 대수 편차 (average logarithm deviation : L_d)
- 준첨두 편차 (quasi-peak deviation : Q_d)
- 실효 안테나 잡음 인자 (effective antenna noise factor : f_a)
- 실효 잡음 지수 (effective noise figure : F_a)
- 유용 잡음 전력 (available noise power : P_N)

표 [4-1]의 잡음 신호를 표현하는 파라미터에 대한 정의 및 설명은 다음과 같다.

1. 평균 전압 (average or mean envelope volatage)

이 파라미터는 식 (4-1)과 같이, 측정 시간동안 측정된 잡음 신호의 크기 $n(t)$ 를 적분한 값을 총 측정시간 T 로 나눈 값이다. 이것은 대체적으로 주기적인 잡음 신호의 크기 성분을 아는데 자주 사용되기도 하며 임펄스성 잡음의 특성을 나타내는데 중요하다.

$$V_{avg} = \frac{1}{T} \int_0^T n(t) dt \quad (4-1)$$

2. 첨두 전압 (peak voltage)

이 파라미터는 식 (4-2)와 같이, 측정 시간 T 동안에 측정된 잡음 신호의 최대값을 나타내는 것이다. 이것은 변조된 신호의 첨두 전압을 관찰하는 것으로써 잡음이 측정되는 특정 지역의 특정 잡음원에 대한 임펄스성 잡음 여부를 판단하는 것은 유용하지만 랜덤 잡음과 같이 임펄스성 잡음이 발생하는 수가 요구되는 잡음의 특성을 나타내는 것은 적합하지 않다.

$$V_{peak} = \text{Maximum of } n(t) \text{ during } T \quad (4-2)$$

3. 유효 전압 (root mean square voltage)

이 파라미터는 식 (4-3)과 같이, 측정 시간 T 동안에 측정된 잡음 신호의 크기 $n(t)$ 를 제공하여 적분하고 그것을 총 측정 시간으로 나누어 제곱근을 취한 값이다. 이 파라미터는 어떤 한 측정값을 기준으로 신호가 변하는 정도를 평균값으로 나타낸 것이다.

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T n^2(t) dt} \quad (4-3)$$

또한 V_{rms} 는 환산되어 실효 잡음 지수 (effective noise figure : F_a)를 산출하는데 사용될 수 있으며, 잡음 신호를 단위 시간당 N 개의 표본으로 추출하여 계산하면 다음의 식 (4-4)와 같이 정의된다.

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N n^2(t)} \quad (4-4)$$

여기서 N 은 단위시간당 표본수이다.

4. 준첨두 전압 (quasi-peak voltage)

이 파라미터는 식 (4-5)와 같이, 매우 짧은 충전시간(1 ms)과 매우 긴 방전시간(160~600 ms)을 가진 특별한 회로를 통과하여 나온 잡음 신호

$n'(t)$ 에 대한 평균값이다. 이러한 회로는 저역통과필터의 성격을 갖는다.

$$V_{gp} = \frac{1}{T} \int_0^T n'(t') dt' \quad (4-5)$$

이 파라미터는 잡음을 나타내는 파라미터로 가장 많이 사용되며, 이 파라미터는 잡음 임펄스의 세기뿐만 아니라 임펄스의 빈도의 함수로서 크기와 시간의 결합 확률 분포(joint probability distribution)를 표현할 수 있기 때문에 잡음을 나타내는 파라미터로 가장 많이 사용된다

5. 평균 대수 전압 (average logarithm of envelope voltage)

이 파라미터는 식 (4-6)과 같이, 측정 잡음 신호 $n(t)$ 에 대수를 취한 값을 측정 시간 T 동안 적분한 것을 총 측정 시간으로 나눈값으로 정의된다.

$$V_{avg} = \frac{1}{T} \int_0^T \log n(t) dt \quad (4-6)$$

6. 전압 편차 (voltage deviation, impulsiveness ratio index)

이 파라미터는 식 (4-7)과 같이, 평균 전압(V_{avg})과 유효 전압(V_{rms})의 비에 대수를 취하고 -20 을 곱한 값으로 정의된다. 이 파라미터는 보통 두 종류의 잡음원에 의한 잡음 신호의 세기를 비교하는데 사용된다.

$$V_d = -20 \log \frac{V_{avg}}{V_{rms}} \quad (4-7)$$

7. 평균 대수 편차 (average logarithm deviation)

이 파라미터는 식 (4-8)과 같이, V_{log} 값의 역대수(antilog) 값과 유효 전압의 비에 대수를 취한 값에 -20 을 곱한 값으로 정의된다. 이 평균 대수 편차 값은 V_{log} 값의 dB 차이를 나타낸다.

$$L_d = -20 \log \frac{10^{V_{log}}}{V_{rms}} \quad (4-8)$$

8. 준첨두 편차 (quasi-peak deviation)

이 파라미터는 식 (4-9)와 같이, 준첨두값과 유효 전압값의 비에 대수를 취한 값에 20 을 곱한 값으로 정의된다. 이 준첨두 편차값은 V_{qp} 와 V_{rms} 값의 dB 차이이다.

$$Q_d = 20 \log \frac{V_{qp}}{V_{rms}} = 20(\log V_{qp} - \log V_{rms}) \quad (4-9)$$

9. 실효 안테나 잡음 인자 (effective antenna noise factor)

무손실 안테나의 등가 실효 잡음 인자는 다음과 같이 정의되면, 이것은 식 (4-10)과 같이, kT_0 가 일정할 때 단위 대역폭당 잡음 전력을 의미한다.

$$f_a = \frac{P_n}{kT_a B} \quad (4-10)$$

여기서, P_n 은 등가 무손실 안테나로부터 얻을 수 있는 평균 잡음 전력[w], k 는 Boltzmann 상수[$1.38 \times 10^{-23} JK^{-1}$], T_a 는 외부 잡음에 대응하는 실효 수신기의 잡음 온도 [$^{\circ}K$], B 는 실효 수신기의 잡음 대역폭 [Hz]이다.

식 (4-10)의 무손실 안테나의 등가 실효 잡음 인자로부터 실효 안테나 잡음 인자는 다음의 식 (4-11)과 같이 정의된다.

$$f_a = \frac{T_a}{T_0} \quad (4-11)$$

여기서, T_0 는 기준 온도[$288^{\circ}K$]이다.

10. 실효 잡음 지수 (effective noise figure)

실효 잡음 지수는 식 (4-12)와 같이 실효 안테나 잡음 인자 f_a 를 dB로

환산한 것이다.

$$F_a = 10 \log f_a \quad (4-12)$$

이 파라미터는 특정 수신기의 입력에서 최소 소요 S/N 비를 r 이라 하고, P_s 를 입력 전력이라 하면 다음과 같이 관계를 가진다.

$$r = \frac{P_s}{f_a k T_0 B} = \frac{P_s}{P} \quad (4-13)$$

식 (4-13)의 관계에서 보듯이, F_a 는 수신기의 설계에 있어서 중요한 파라미터가 된다.

그리고, $h \ll \lambda$ 인 미소 수직 안테나(short vertical antenna)를 수신 안테나로 사용할 경우, 실효 잡음 지수에 대한 잡음 전계강도의 실험실은 다음과 같다.

$$E_n = F_a + 20 \log f_{MHz} + B + 95.5 \quad [dBuV/m] \quad (4-14)$$

또한, 반파장 다이폴 안테나에서는 다음과 같다.

$$E_n = F_a + 20 \log f_{MHz} + B + 99.0 \quad [dBuV/m] \quad (4-15)$$

그러므로 저잡음 수신기를 사용하여 E_n 을 측정하면, F_a 를 산출할 수 있다.

11. 유용 잡음 전력 (available noise power)

유용 잡음 전력은 식 (4-16)과 같이 정의된다.

$$P_n = F_a + B - 10 \log(kT_0) \quad (4-16)$$

제 4-2 절 잡음의 통계적 모형

대부분의 잡음은 그 특징을 결정하는 주파수 스펙트럼의 분포, 진폭, 위상 관계가 불규칙하기 때문에 이러한 잡음의 주파수 특성을 정확하게 해석하는 것이 매우 어렵다. 따라서 시간축에 따른 잡음의 특성을 근본적으로 해석하기 위해서는 주기 함수 및 비주기 함수로 나타나는 일반적인 모든 잡음 신호에 적용할 수 있는 통계적 모형을 만들 필요가 있다.

일반적인 잡음 전압 또는 전류의 진폭을 시간 영역에서 시간의 함수로 나타내면 다음의 식 (4-17)과 같다.

$$V_n = f(t) \quad (4-17)$$

위의 식 (4-17)을 전압-시간의 그래프로 표시한 것이 잡음 파형이며, 그 형태에 따라 주기성 잡음, 연속적 불규칙성 잡음, 간헐적 또는 임펄스성 잡음 등으로 구별된다.

만약, $f(t)$ 가 주기적이면 Fourier 급수로 전개될 수 있으며 기본 주파수와 그 고조파 성분의 정현파 합으로 표현된다. 즉, T 를 신호의 주기라하면 $f(t)$ 는 식 (4-18)과 같이 기본 주파수 $2\pi/T$ 와 그 고조파 성분의 합으로 표현된다.

$$f(t) = \sum_{N=-\infty}^{\infty} A_n \exp\left[j \frac{2n\pi}{T} t\right] \quad (4-18)$$

여기서,

$$A_n = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \exp\left[-j \frac{2n\pi}{T_0} t\right] dt \quad (4-19)$$

이다. 또한 주파수 영역에서 $f(t)$ 를 주기 함수에 한정하지 않고 일반적인 시간 함수라 할 때, 그 Fourier 변환 및 그 역 Fourier 변환은 다음의 식 (4-20)과 식 (4-21)로 정의된다.

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \exp(-j\omega t) dt \quad (4-20)$$

$$f(t) = \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega) \exp(-j\omega t) d\omega \quad (4-21)$$

여기서, $F(\omega)$ 를 $f(t)$ 의 주파수 스펙트럼이라고 하며 이 스펙트럼이 넓은 주파수 대역에 걸쳐 있는 일정한 크기의 불규칙 잡음을 백색 잡음이라고 한다. 그리고 Delta 함수로 표시되는 임펄스성 스펙트럼도 넓은 주파수에 걸쳐서 일정하게 나타나게 된다.

이러한 백색 잡음과 임펄스성 잡음은 모든 주파수 성분을 포함하지만 파형의 모양은 아주 다르다. 두 잡음 사이의 차이는 위상 때문이며,

임펄스성 잡음에서는 특정한 지점에 대해서 전체 주파수 성분의 위상이 일치하는데 반해 백색 잡음은 0 과 2π 사이의 위상에 분포하기 때문이다.

잡음 신호의 여러가지 통계적 모형은 다음과 같다.

[표 4-2] 잡음 신호의 통계적 모형.

- 확률 밀도 함수 (probability density function : PDF)
- 자기 상관 함수 (auto-correlation function : ACF)
- 상호 상관 함수 (cross-correlation function : CCF)
- 전력 밀도 스펙트럼 (power density spectrum : PDS)
- 축적 분포 함수 (cumulative distribution function : CDF)
- 진폭 확률 분포 (amplitude probability distribution : APD)
- 평균 포락선 교차율 (average cross rate : ACR)
- 펄스 지속시간 분포 (pulse duration distribution : PDD)
- 펄스 간격 분포 (pulse spacing distribution : PSD)
- 잡음 진폭 분포 (noise amplitude distribution : NAD)
- 순시 확률 분포 (time probability distribution : TPD)

표 [4-2]의 여러가지 통계적 모형에 대한 정의 및 설명은 다음과 같다.

1. 확률 밀도 함수 (probability density function)

불규칙성 잡음을 다루는 경우에는 진폭의 순시치나 파형보다는 진폭이

특정한 값을 갖는 확률과 그 분포가 중요한 의미를 갖는다. 측정된 샘플값이 v 와 $v+dv$ 사이의 값을 가질 확률을 dp 라고 하면, 식 (4-22)의 $\rho(v)$ 를 확률 밀도 함수로 정의한다.

$$dp = \rho(v) dv \quad (4-22)$$

식 (4-22)의 확률 밀도 함수는 다음의 식 (4-23)으로 표시되는 정규화 조건을 만족한다.

$$\int_{-\infty}^{\infty} dp = \int_{-\infty}^{\infty} \rho(v) dv = 1 \quad (4-23)$$

이 식을 사용하여 v 의 평균치 \bar{v} , 또는 제곱 평균치 \bar{v}^2 은 다음의 식 (4-24)와 식 (4-25)로 정의된다.

$$\bar{v} = \int_{-\infty}^{\infty} v \rho(v) dv \quad (4-24)$$

$$\bar{v}^2 = \int_{-\infty}^{\infty} v^2 \rho(v) dv \quad (4-25)$$

일반적으로 잡음은 변동분만을 고려하기 때문에 $\rho(v)$ 는 v 에 대하여 대칭, 즉 $\rho(-v)$ 이기 때문에 $\bar{v} = 0$ 이 된다. 그러므로 확률 밀도 함수는 실효치 \bar{v}^2 이 중요하게 된다.

평균에는 시간 평균(time mean)과 집합 평균(ensemble mean)이 있으며,

하나의 시스템량 v 에 대해서 장시간 관측하여 평균을 취한 것이 시간 평균이고, 순시치가 독립적인 다수의 시스템 집합을 가정하여 (각각의 시스템을 동일한 성질의 교란 현상에 대해 지배됨) 그 집합 전체의 요수 v 의 어느 시점에 대한 평균을 집합 평균이라고 한다. 일반적으로 잡음의 측정에는 시간 평균을 사용하며 잡음의 계산에는 집합 평균을 사용한다.

2. 자기 상관 함수 (auto-correlation function)

식 (4-26)과 같이, 불규칙 파형 $f(t)$ 에 있어서 시간 τ 만큼 뒤진 값 $f(t+\tau)$ 사이의 상관 함수를 $R(\tau)$ 라 하고 이것을 자기 상관 함수라 한다.

$$R(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T f(t) f(t+\tau) dt \quad (4-26)$$

여기서 $R(\tau)$ 는 불규칙 신호나 잡음의 특성을 기술하는데 중요한 함수이며, $R(0)$ 는 자승 평균 전력을 나타낸다. $f(t)$ 가 완전히 불규칙적으로 랜덤하면 $R(\tau)$ 는 $R(0)=0$ 이 되고, 주기성을 가지면 주기 T 의 정수배 τ 에 있어서 최대값을 갖는다.

그러므로 잡음 파형 $f(t)$ 를 처리하여 스펙트럼, 확률 분포, 자기 상관, 전력 스펙트럼(power spectrum)을 구하는 것에 의해 잡음의 고유 특징을 추출한다거나 잡음과 신호를 분리하는 것이 가능하다. 그러나 자기 상관 함수에서는 파형의 모양에 대한 정보가 손실되고 전력 밀도 스펙트럼에서는 위상에 대한 정보가 손실된다.

3. 상호 상관 함수 (cross-correlation function)

식 (4-27)과 같이, 두 개의 신호 $f(t)$ 와 $g(t)$ 사이에 정의되는 함수 $\phi_{fg}(\tau)$ 를 상호 상관 함수로 정의한다.

$$\phi_{fg}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T f(t) g(t+\tau) dt \quad (4-27)$$

식 (4-27)은 $f(t)$ 와 $g(t)$ 사이의 상관을 시간차 τ 의 함수로써 나타낸 것으로, 만약 $g(t) = f(t)$ 인 경우에는 다음의 식 (4-28)과 같이 $\phi_{ff}(\tau)$ 가 자기 상관 함수(auto-correlation function) $R(\tau)$ 와 같아지게 된다.

$$\phi_{ff}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T f(t) f(t+\tau) dt \quad (4-28)$$

$f(t+\tau)$ 는 $f(t)$ 의 시간 τ 만큼 경과한 후의 값이기 때문에 $\phi_{ff}(\tau)$ 는 신호 $f(t)$ 가 τ 만큼 경과한 후의 값과 어느 정도 상관이 있는가를 나타내는 것이다.

만약 $f(t)$ 가 주기 T 를 갖는 주기 함수라면 다음의 식 (4-29)과 같이 Fourier 급수로 표시할 수 있다.

$$f(t) = \sum_{n=0}^{\infty} A_n \cos \left[\frac{2n\pi}{T} t - \Phi_n \right] \quad (4-29)$$

식 (4-29)의 주기 신호에 대하여 자기 상관 함수 $\phi_{ff}(\tau)$ 를 구하면 삼각함수의 직교성으로부터 다음의 식 (4-30)과 식 (4-31)을 구할 수 있다.

$$\phi_{ff}(\tau) = A_0^2 + \frac{1}{2} \sum_{n=1}^{\infty} A_n^2 \cos \left[\frac{2n\pi}{T} \tau \right] \quad (4-30)$$

$$g(t) = \sum_{n=0}^{\infty} B_n \cos \left[\frac{2n\pi}{T} t - \Phi_n \right] \quad (4-31)$$

식 (4-30)과 식 (4-31)의 두 주기 신호의 상호 상관 함수를 구하면,

$$\phi_{fg}(\tau) = A_0 B_0 + \frac{1}{2} \sum_{n=0}^{\infty} A_n B_n \cos \left[\frac{2n\pi}{T} \tau + \phi_n - \Phi_n \right] \quad (4-32)$$

과 같이 된다.

주기 신호의 상관 함수는 신호와 같은 주기를 갖는 주기 함수로 되며 $f(t)$ 의 위상 Φ_n 에 관계되는 정보를 잃어버리게 된다. $\phi_{ff}(\tau)$ 는 모든 신호 파형의 각 주파수 성분의 위상을 같게하여 τ 축에 총첩시킨 것으로 보는

것도 가능하다. 식 (4-32)를 보면 주기 신호의 각 상관 함수도 신호와 같은 주기를 갖는 주기 함수로 되지만, $f(t)$ 와 $g(t)$ 의 위상차에 관계되는 정보가 남아 있음이 판명된다.

이와 같은 상관 함수는 불규칙한 잡음 중에 포함되어 있는 신호로부터 기본 주기를 추출해 내거나 주기를 알고 있는 신호를 잡음 중에서 추출해 내는 경우에 유용하다.

4. 전력 밀도 스펙트럼 (power density spectrum)

전력 스펙트럼(power spectrum)은 자기 상관 함수와 Fourier 변환 관계를 이루고 있으며 상호 스펙트럼(cross spectrum)과 상호 상관 함수도 역시 Fourier 관계를 이루고 있다. 이 관계는 Wiener-Khintchine 정리로 설명되며, 다음의 식 (4-33)과 (4-34)와 같이 기술된다.

- 전력 스펙트럼

$$\Phi_{ff}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \phi_{ff}(\tau) \exp(-j\omega\tau) d\tau \quad (4-33)$$

- 상호 스펙트럼

$$\Phi_{fg}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \phi_{fg}(\tau) \exp(-j\omega\tau) d\tau \quad (4-34)$$

반대로, 전력 스펙트럼 $\Phi_{ff}(\omega)$ 와 상호 스펙트럼 $\Phi_{fg}(\omega)$ 의 역 Fourier 변환이 각각 자기 상관 함수 $\phi_{ff}(\tau)$ 와 상호 상관 함수 $\phi_{fg}(\tau)$ 가 되는 것은

명백한 일이다.

이러한 Wiener-Khintchine 정리를 이용하여 전력 밀도 스펙트럼은 다음의 식 (4-35)와 같이 정의된다.

$$S(v) = \lim_{T \rightarrow \infty} T^{-1} \left[\int_0^T f(t) \exp\left(-\frac{2\pi}{vt}\right) dt \right]^2 \quad (4-35)$$

5. 축적 분포 함수 (cumulative distribution function)

측정된 샘플로부터 축적 분포 함수를 구하기 위해서는 먼저 샘플 데이터의 확률 분포 함수 $p(x)$ 를 구해야 한다. 확률 분포 함수 $p(x)$ 는 다음의 식 (4-36)과 같이 구할 수 있다.

$$p(x) = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{x\text{값을 중심으로 } \Delta x \text{ 범위내의 샘플수} / \Delta x}{\text{측정된 샘플의 총수 } (N)} \quad (4-36)$$

여기서 $N = \infty$ 이며, 축적 함수 분포는 다음의 식 (4-37)과 같다.

$$CDF(v) = \int_0^v p(x) \tau \quad (4-37)$$

6. 진폭 확률 분포 (amplitude probability distribution)

진폭 확률 분포를 이용한 잡음의 표현은 통신 시스템에서의 장애현상을

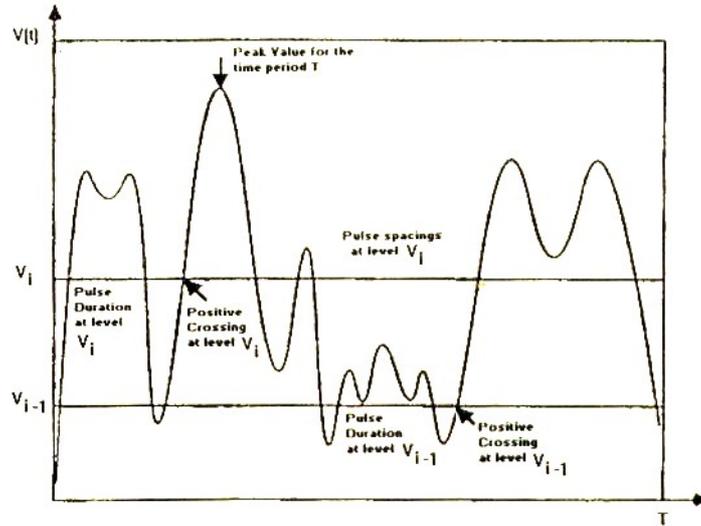
평가할 때 자연 잡음과 인공 잡음을 설명하기 위한 가장 유용한 통계적 표현이다. 또한 측정 수신기를 설계할 때는 잡음의 실효 강도뿐만 아니라 분포 특성도 고려해야 하며 특히 펄스 통신이나 미약한 신호를 검출하는 수신기 등에서는 일정한 진폭 이상의 임펄스형 잡음 분포가 통신 시스템의 오류(error rate)를 결정하므로 APD 특성이 중요한 측정 요소가 된다.

일반적인 APD 특성 곡선은 원형 추적법(circular arc)을 이용하는데 이것은 주어진 시간내에서 잡음 진폭에 대한 확률 분포로 평균치(V_{avg}), 실효치(V_{rms}), 대수 평균치(V_{log})를 구한 후, 다음의 식 (4-38)과 식 (4-39)에 의해 표시하는 방법이다.

$$V_d = 20 \log \left(\frac{V_{avg}}{V_{rms}} \right) \quad (4-38)$$

$$L_d = 20 \log \left(\frac{V_{rms}}{V_{log}} \right) \quad (4-39)$$

또한 APD 는 어떤 측정 시간 T 동안에 측정된 파형의 형태가 그림 4-1 과 같을 때, 측정된 신호의 크기가 특정한 크기 v_i 이상되는 신호의 시간을 확률로 나타내는 것으로 정의된다. 그런데 APD 는 임펄스성 잡음의 일차 통계(first-order statistics)로써, 이 APD 값이 펄스 하나에 의한 것인지 혹은 여러 개의 펄스에 의한 것인지에 대한 정보가 없다.



[그림 4-1] 시간에 따른 잡음 신호의 변화 예.

이것을 통계적 모형으로 표현하면 다음의 식 (4-40)과 같으며,

$$APD(v_i) = 1 - CDF(v_i) \quad (4-40)$$

또한, 잡음의 순시치를 시간에 대한 분포로 단위 시간당 N 개의 표본을 측정하여 입력 순시 전압에 초과하는 순시축의 확률 $APD(\%)$ 를 산출함으로써 구할 수도 있다.

$$APD = \frac{n(v_i - v \geq 0)}{N} \times 100 \quad (\%) \quad (4-41)$$

여기서, N 은 단위시간당 표본수, n 은 $v_i - v \geq 0$ 이 되는 표본수, v_i 는 입력

순시 전압, v 는 기준 전압이다.

7. 평균 포락선 교차율 (average crossing rate)

평균 포락선 교차율이란 어떤 측정 시간 T 동안에 수신기의 출력으로 나오는 파형의 형태가 그림 4-1 과 같을 때, 측정된 신호가 특정한 크기의 양의 기울기를 가지며 교차하는(positive crossing) 수를 시간으로 나누어 평균값을 나타낸 것이다. 이것을 수식으로 표현하면 다음의 식 (4-42)와 같다.

$$ACR = \frac{E(n(t_2 - t_1))}{(t_2 - t_1)} \quad (4-42)$$

8. 펄스 지속시간 분포 (pulse duration distribution)

펄스 지속시간 분포는 어떤 측정 시간 T 동안에 수신기의 출력으로 나오는 파형의 형태가 그림 4-1 과 같을 때, 측정된 신호가 특정한 크기를 넘는 시간들의 총합을 의미한다. 이것을 수식으로 표현하면 다음의 식 (4-43)과 같다.

$$PDD \left[\frac{t_b}{v_j} \right] = \int_{t_b}^{\infty} P_d \left[\frac{t}{v_j} \right] dt \quad (4-43)$$

9. 펄스 간격 분포 (pulse spacing distribution)

펄스 간격 분포는 어떤 측정 시간 T 동안에 수신기의 출력으로 나오는 파형의 형태가 그림 4-1 과 같을 때, 측정된 신호가 일정한 크기를 넘지 않는 시간들의 총합을 의미한다. 이것을 수식으로 표현하면 식 (4-44)와 같다.

$$PSD \left[\frac{t_s}{v_j} \right] = \int_{t_s}^{\infty} P_s \left[\frac{t}{v_j} \right] dt \quad (4-44)$$

10. 잡음 진폭 분포 (noise amplitude distribution)

잡음 진폭 분포는 임펄스성 잡음의 평균 포락선 교차율(ACR) 정보의 문턱치에 따라서 나타나는 확률로서, 이것을 양의 문턱치 교차점(positive level crossing)이라 한다. 즉, 1 초 동안 몇 개의 펄스가 주어진 크기를 넘느냐에 관한 정보로 NAD 는 확률적인 면에서 랜덤 변수가 아니라 잡음 자체의 정확한 정보이다.

11. 순시 확률 분포 (time probability distribution)

순시 확률 분포는 펄스사이의 시간에 대한 확률 분포로써, 임의의 진폭을 갖는 펄스 잡음의 정도 특성을 가장 나타내는 통계적 모형으로 식 (4-

45)와 같이 정의된다.

$$TPD = \frac{n(t_i - t \geq 0)}{N} \times 100 \quad (\%) \quad (4-45)$$

여기서, N 은 단위시간당 표본수, n 은 $t_i - t \geq 0$ 이 되는 표본수, t_i 는 펄스 간격 시간, t 는 기준 시간이다.

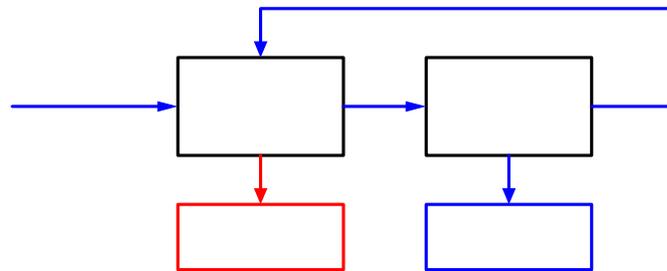
위에서 설명된 통계적 모형 중 어느 하나로 임펄스성 잡음의 완전한 특성을 나타내기는 어려우며, 여러 가지 모형을 종합적으로 분석함으로써 잡음의 특성과 통신장애에 대한 예측이 가능해진다.

예를 들어, 잡음의 성질을 시간측면에서 볼때는 평균 포락선 교차율 (ACR)이 사용되며 더 자세한 정보는 펄스 지속시간 분포(PDD)나 펄스 간격 분포(PSD)를 측정하여 얻을 수 있다. 그리고 잡음의 크기에 대한 것은 진폭 확률 분포(APD)로 얻을 수 있으나 환전하지는 않으므로 평균 포락선 교차율(ACR)이나 잡음 진폭 분포(NAD)를 측정하여 APD 와 더불어 이용하는 것이 필요하다.

제 4-3 절 통계적 모형 처리 알고리즘

본 연구에서 개발된 잡음 측정 시뮬레이터는 진폭 확률 분포(APD)를 통계적 모형으로 채택하였다. 진폭 확률 분포를 채택한 이유는 앞서도 언급했듯이 통신 시스템에서의 장애현상을 평가할 때 자연 잡음과 인공 잡음을 설명하기 위한 가장 유용한 통계적 표현이기 때문이다. 그리고 지금까지 활발한 연구를 통해서 진폭 확률 분포의 일반식이 정립되어 있기 때문에 통계적 모형으로부터 파라미터 추출이 용이하다는 장점을 가지고 있다^{[5]~[6]}.

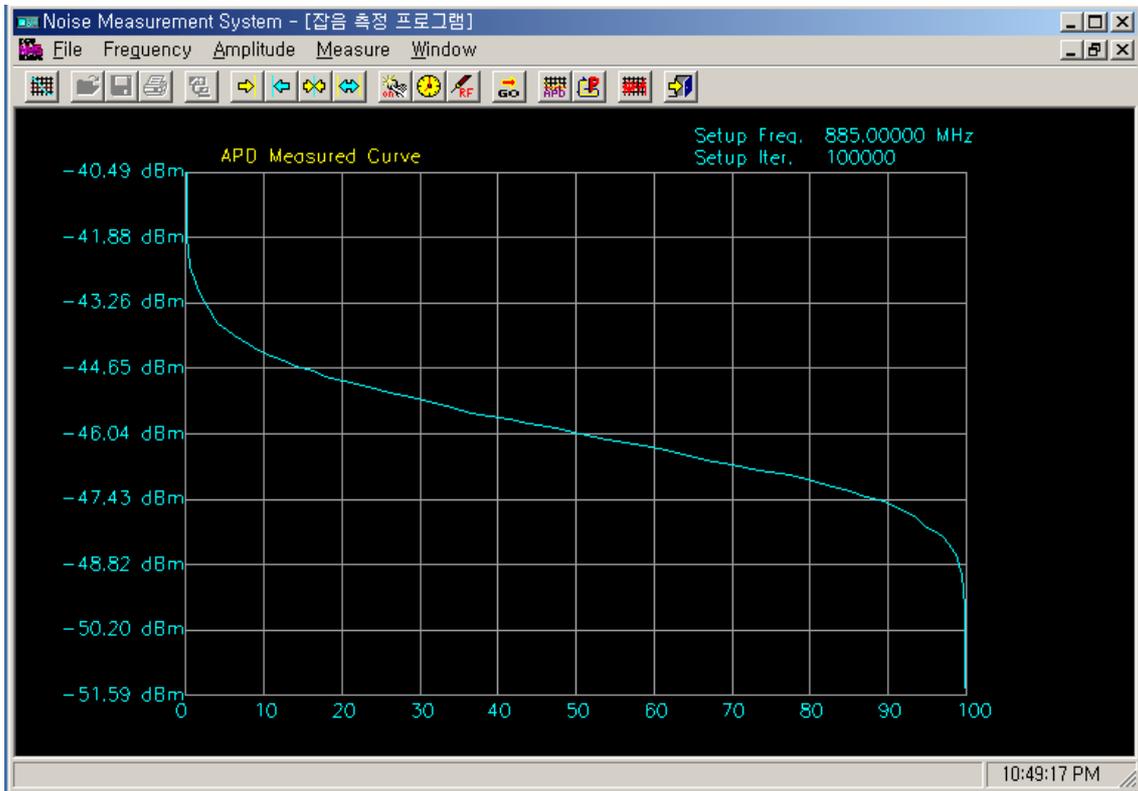
본 연구에서 개발된 잡음 측정 시뮬레이터의 통계적 모형 처리 알고리즘은 그림 4-2 와 같으며, 이 단계는 그림 3-4 의 잡음 측정 알고리즘이 완료된 후, 저장된 잡음 측정 데이터를 이용하여 시행된다.



[그림 4-2] 통계적 모형 처리 알고리즘.

저장된 잡음 측정 데이터는 정의에 의해서 진폭 확률 분포로 계산되며, 계산된 데이터는 다시 임시 메모리에 저장되어 다음 단계인 파라미터 추출

과정에서 이용된다. 이 때, 잡음의 파형 데이터는 앞서도 언급했듯이 큰 의미가 없기 때문에 진폭 확률 분포 데이터로 대체(overwrite)되게 되며, 이 진폭 확률 분포는 그림 4-3 과 같이 모니터 화면에 표시된다.



[그림 4-3] 계산된 진폭 확률 분포.

제 5 장 파라미터 추출 프로그램

임펄스성 전파 잡음의 진폭 확률 분포(APD)에서 파라미터를 추출하기 위해서 지금까지는 Middleton 이 제안한 방법을 사용하였다. Middleton 은 잡음의 점유 대역폭과 수신기의 수신 대역폭 사이의 관계에서 잡음을 A, B, C 급으로 분류하여, 각각의 등급별 APD 곡선으로부터 물리적인 이론에 의거한 해석 방법으로 A 급은 3 개의 파라미터, B 급은 6 개의 파라미터, C 급은 우세 잡음 파라미터(A 급이 우세하면 3 개, B 급이 우세하면 6 개)를 시행 착오(trial and error)법으로 추출하였다^{[3]~[4]}.

그러나 시행 착오법은 한정된 수의 파라미터 추출만이 가능하기 때문에 Middleton 이 제안한 방법과 같이 잡음의 등급을 나누어서 파라미터를 추출하여야 하며, 파라미터 추출 시간이 많이 걸리고 추출된 파라미터가 국부 최적화(local optimization)일 가능성이 있다는 단점이 있다. 또한 하나의 결과를 가지고 다음의 입력을 결정하기 때문에 파라미터 추출 자동화가 매우 어렵거나 비효율적이 된다.

그래서 본 연구에서 개발된 전파 측정 시뮬레이터는 유전자 알고리즘(genetic algorithm)이라는 최적화 기법을 사용하여 잡음의 통계적 모형으로부터 파라미터를 추출하였다. 이 유전자 알고리즘은 잡음의 등급 구별없이 다수의 파라미터 추출이 가능하며, 파라미터의 전역 최적화(global optimization)가 시행되며, 컴퓨터에 의하여 추출 과정의 자동화가 가능한 장점을 가지고 있다^{[10]~[13]}.

제 5 장에서는 지금까지 파라미터 추출 방법으로 사용되어 온

Middelton 에 의한 시행 착오법에 대해 설명하고 그 뒤로 본 연구에서 적용한 유전자 알고리즘 방법에 대해 자세히 설명하여, 두 방법의 비교를 통하여 유전자 알고리즘의 우수성을 증명하고자 하였다.

제 5-1 절 시행 착오법에 의한 파라미터 추출

시행 착오법을 사용하여 잡음의 통계적 모형으로부터 파라미터를 추출하기 위해서는 먼저 잡음의 등급을 구별해야 한다. 이것은 시행 착오법이 한정된 수의 변수만을 최적화 할 수 있기 때문에 반드시 필요한 과정이다. 잡음의 등급을 구별하고 추출해야 할 등급별 파라미터를 표현하는 방법은 1960년대 중반에 Middleton 이 제안하였다^{[2]~[3]}.

1. 전파 잡음의 등급

Middleton 에 의해 제안된 A 급, B 급, C 급 잡음의 분류는 다음의 표 5-1 과 같다.

[표 5-1] 임펄스성 전파 잡음의 등급.

등급	특성
Class A	수신 대역폭과 비교해서 협대역 특성의 잡음
Class B	수신 대역폭과 비교해서 광대역 특성의 잡음
Class C	A 급 잡음과 B 급 잡음의 혼입 형태

또한, 잡음 등급별 잡음의 대표적인 예를 들면 다음의 표 5-2 와 같다^[3].

[표 5-2] 등급별 잡음의 종류.

등급	종류		
Class A	Clutter (EM) Reverberation (acoustic)		EM emission - power lines
Class B	Automobile ignition Atmospheric	Cosmic - solar	- electric tools
Class C		- galactic	- etc

가. Clutter (EM)

클러터. 레이더에서 지면, 해면, 비누방울 등으로부터 발생하는 불필요한 반사파에 의해 나타나는 에코(반향) 등의 반사 장애를 말한다.

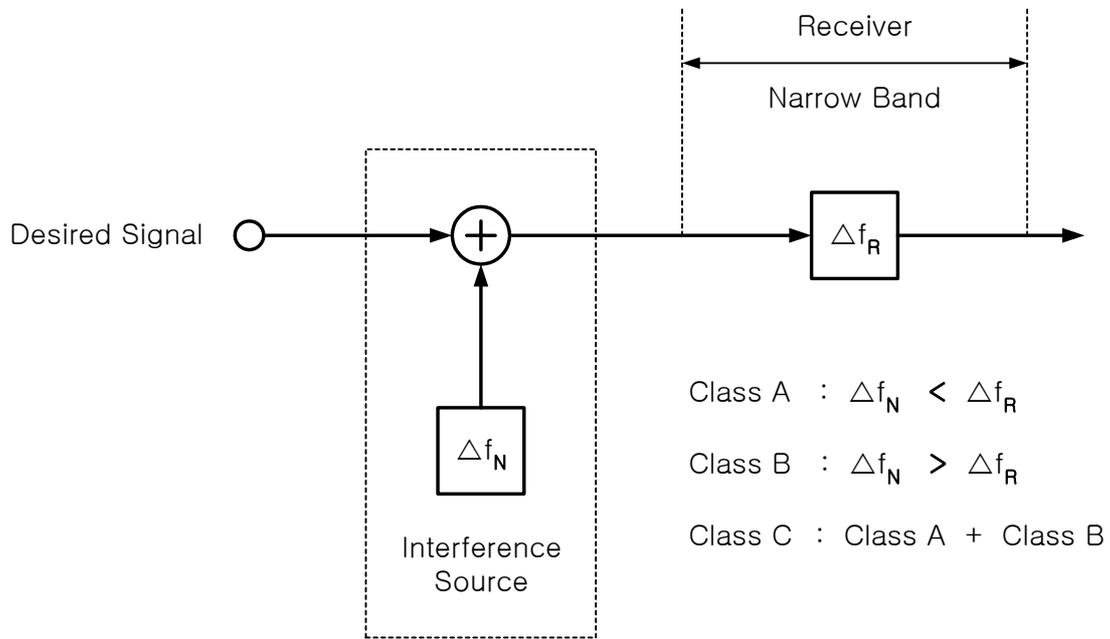
나. Reverberation (acoustic)

잔향. 음원이 동작을 멈추어 직접음을 들을 수 없게 된 뒤에도 주위 물체의 반사로 인해 음이 계속 존재하는 현상을 말한다. 이 잔존음을 잔향음이라 한다. 직접음이 없어진 순간부터 잔향음의 에너지가 10^6 (-60dB)으로 감쇠할 때까지 걸리는 시간을 잔향 시간이라 한다. 잔향 시간은 실내의 크기, 형상 및 벽체나 천장의 재질에 대한 흡음률에 따라 다르다.

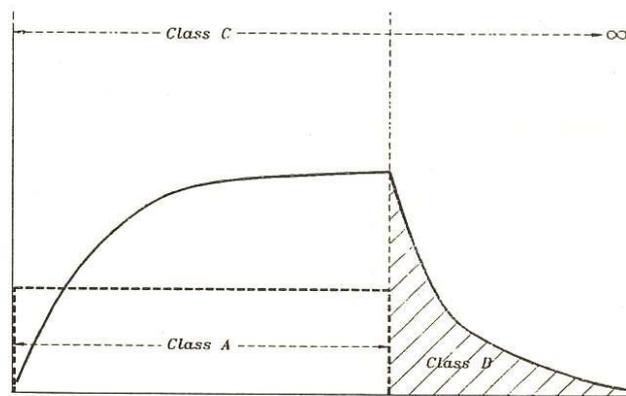
2. 잡음 등급별 통계적 모형

잡음은 그림 5-1 과 같이 선형 수신기를 통해 수신된 잡음 신호의 변화에

의해서 생성된 잡음 포락선의 모양에 따라 분류되며, 이때, 수신기에서 잡음 신호에 대한 포락선의 응답은 그림 5-2에 나타내었다.



[그림 5-1] 협대역 수신기에 대한 잡음의 분류.



[그림 5-2] 구형 펄스에 대한 IF 증폭기의 출력 응답.

가우스성 확률 분포를 갖는 단일 잡음원이 존재할 때, 측정값 E 가 기준값 E_0 보다 클 확률 분포 함수 (PDF : probability distribution function) $P_1(E > E_0)_{A,B}$ 는

$$P_1(E > E_0)_{A,B} = 1 - E_0 \int_0^\infty J_1(rE_0) \hat{F}_1(ir) dr \quad (5-1)$$

와 같다.

여기서 J_1 은 Bessel 함수이고, i 는 단위 벡터, r 은 특성 함수의 반경 벡터, \hat{F}_1 은 특성 함수로써 A 급, B 급 잡음에 대해서 각각 다음과 같다.

$$\hat{F}_1(ir)_{A+G} \doteq e^{-A_{\infty,A}} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{A_{\infty,A}^m}{m!} \times \exp[-\{m(\hat{B}_{0A}^2)/2 + \sigma_G^2\} r^2/2 \cdot \{1+0(r^4)\}] \quad (5-2)$$

$$\hat{F}_1(ir)_{(B+G)-I} \doteq \exp[-b_1 \alpha A_{\infty,B} r^\alpha - \Delta \sigma_G^2 r^2/2] \quad (5-3)$$

$$\hat{F}_1(ir)_{(B+G)-II} \doteq e^{-A_{\infty,B}} \exp[A_{\infty,B} e^{-b_{2\alpha} r^{2/2}} - \sigma_G^2 r^2/2] \times [1+0(r^a, r^4)] \quad (5-4)$$

여기서 첨자 G는 가우스성 잡음 성분을 나타내며 A, B는 각각 A 급 및 B 급 잡음을 나타낸다. 그리고 I, II는 B 급 잡음에서의 영역 분류를 나타낸다. 또한, $A_{\infty,A}$, $A_{\infty,B}$ 는 각각 A, B 급 잡음에 대한 임펄스 지수를

나타내며 \hat{B}_{OA} 는 A 급 잡음에 대한 잡음 포락선의 형태를 나타낸다. σ_G^2 은 가우스 잡음의 편차를 나타내며 $0(x)$ 는 오차 함수, b_α 는 하중 모멘트, α 는 공간밀도 전달변수를 나타낸다.

식 (5-2), 식 (5-3), 식 (5-4)를 정규화하기 위해서,

$$a_{A \text{ or } B} = \{2\Omega_2(1+\Gamma')\}^{-1/2} \quad (5-5)$$

여기서 Ω_2 를 비가우스성 성분의 평균밀도로 정의하고

$$\varepsilon = aE, \quad \varepsilon_0 = aE_0 \quad (5-6)$$

으로 정의하면, 식 (5-2), 식 (5-3), 식 (5-4)에서 $r = a\lambda$ 가 되며, 여기서 λ 는 특성 함수에서 잡음 영역을 나타내는 독립변수가 된다.

따라서 A 급, B 급 잡음에 대한 일반화된 진폭 확률 분포 함수는 다음과 같이 된다.

$$P_1(\varepsilon > \varepsilon_0)_{A,B} = 1 - \varepsilon_0 \int_0^\infty J_1(\lambda \varepsilon_0) \hat{F}_1(ia\lambda)_{A,B} d\lambda \quad (5-7)$$

가. A 급 잡음의 통계적 모형

A 급 잡음에 대한 특성함수 식 (5-2)를 식 (5-5)에 의해 정규화하면 다음의 근사화식을 얻을 수 있다.

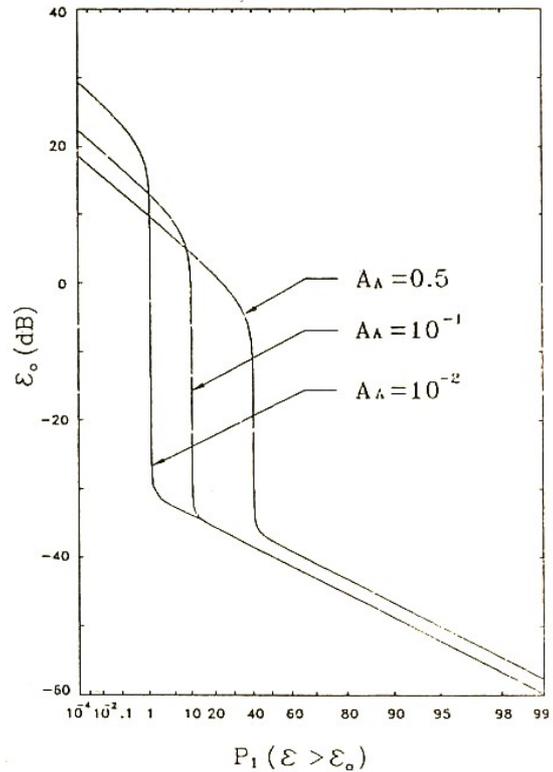
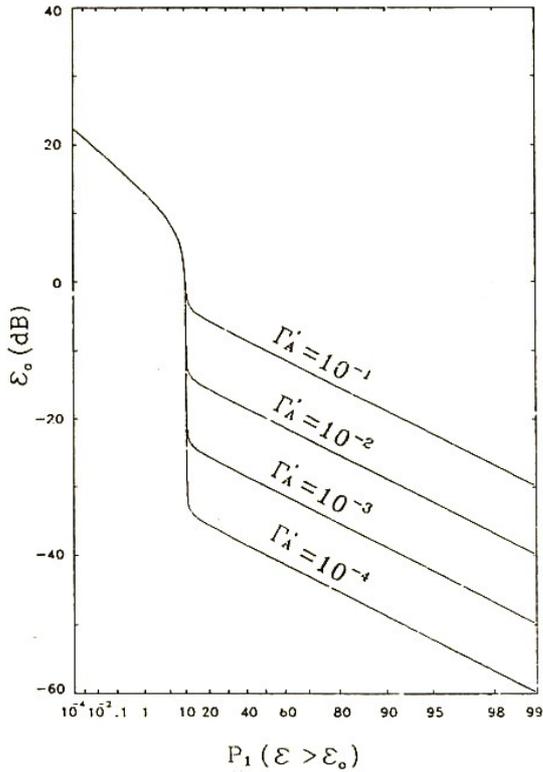
$$\hat{F}_1(ir)_A \doteq e^{-A_A} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{A_A^m}{m!} \exp[-\hat{\sigma}_{mA}^2 a^2 \lambda^2 / 2] \quad (5-8)$$

여기서 $2\hat{\sigma}_{mA}^2 \equiv (m/A_A + \Gamma'_A)/(1 + \Gamma'_A)$ 이며, A_A , Γ'_A 는 각각 임펄스 지수, 가우스-임펄스 비를 나타낸다.

식 (5-7)에 식 (5-8)을 대입하고, confluent hyper-geometric 함수 ${}_1F_1(1, 2, -x) = (1 - e^{-x})/x$ 를 사용하여 적분하면 진폭 확률 분포 함수는

$$\begin{aligned} P_1(\varepsilon > \varepsilon_0)_A &= 1 - e^{-A_A} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{A_A^m}{m!} \frac{\varepsilon_0^2}{2\hat{\sigma}_{mA}^2} {}_1F_1[1, 2, \frac{-\varepsilon_0^2}{2\hat{\sigma}_{mA}^2}] \\ &= e^{-A_A} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{A_A^m}{m!} \exp[\frac{-\varepsilon_0^2}{2\hat{\sigma}_{mA}^2}] \end{aligned} \quad (5-9)$$

으로 된다.



(a) Γ'_A 변화 ($A_A = 0.1$ 인 경우)

(b) A_A 변화 ($\Gamma'_A = 10^{-4}$ 인 경우)

[그림 5-3] A 급 잡음에 대한 확률 분포.

식 (5-9)에서 A_A 를 고정시킨 상태에서 Γ'_A 를 변화시키면 그림 5-3의 (a)와 같이 Γ'_A 가 감소함에 따라 Rayleigh 분포 곡선이 감소하는 특성을 나타내며, Γ'_A 를 고정시킨 상태에서 A_A 를 변화시키면 임펄스성 잡음의 진폭 확률 분포가 그림 5-3의 (b)와 같이 A_A 에 비례하여 증가하는 특성을 나타낸다.

나. B 급 잡음의 통계적 모형

B 급 잡음은 두 개의 영역 I 과 II 로 분류되며 각 영역의 특성 함수는 식 (5-3), 식 (5-4)와 같다. 이 식들에서 $A_{\infty, B}$ 를 유한한 기간 동안의 임펄스 지수 A_B 로 근사화시킨 후 정규화하면,

$$\hat{F}_1(ir)_{(B+G)-I} \doteq \exp[-b_1 \alpha A_B a^\alpha - \Delta \sigma_G^2 a^2 \lambda^2 / 2] \quad (5-10)$$

$$\hat{F}_1(ir)_{(B+G)-II} \doteq e^{-A_B} \exp[A_B e^{-b_2 \alpha a^2 \lambda^2 / 2} - \sigma_G^2 a^2 \lambda^2 / 2] \quad (5-11)$$

이 얻어진다.

이들 특성 함수들을 식 (5-1)에 대입하면, B 급 잡음의 영역 I 과 영역 II 에 대한 확률 분포 함수 $P_1(\varepsilon > \varepsilon_0)_B$ 를 얻을 수 있다.

$$P_1(\varepsilon > \varepsilon_0)_B = 1 - \hat{\varepsilon}_0^2 \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\hat{A}_\alpha (-1)^n A_B^n}{n!} \times \Gamma\left(1 + \frac{\alpha n}{2}\right) {}_1F_1\left(1 + \frac{\alpha n}{2}, 2, -\hat{\varepsilon}_0^2\right) \quad (5-12)$$

여기서 $\hat{\varepsilon}_0 \equiv (\varepsilon_0 N_i) / 2G_B$, $\hat{A}_\alpha \equiv A_\alpha / 2^\alpha G_B^\alpha$ 이며, N_i 는 scale factor, G_B 는 잡음원의 파형을 나타낸다.

Confluent hyper-geometric 함수를 B 급 잡음에 적용할 때는 수렴 급수에 의해 $x^2 > 1$ 에서 다음과 같이 근사화시킬 수 있다.

$${}_1F_1(\alpha, \beta, -x) \cong \frac{\Gamma(\beta)}{\Gamma(\beta-\alpha)} x^{-\alpha} \cdot \left[1 + \frac{\alpha(\alpha-\beta+1)}{x} + \frac{\alpha(\alpha+1)(\alpha-\beta+1)(\alpha-\beta+2)}{2!x^2} \right] \quad (5-13)$$

식 (5-13)를 식 (5-12)에 대입함으로써 B 급 잡음의 영역 I 에서 $\varepsilon_0 > \varepsilon_B$ 경우에 대한 확률 분포 함수 $P_1(\hat{\varepsilon} > \hat{\varepsilon}_0)_{B-I}$ 가 얻어진다.

$$P_1(\varepsilon > \varepsilon_0)_{B-I} \cong \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\hat{A}_\alpha (-1)^n A_B^n}{n!} \frac{\Gamma(1+\alpha/2)}{\Gamma(1-\alpha/2)} \times \hat{\varepsilon}_0^{-n\alpha} \left[1 + \frac{(1+(\alpha n/2)(\alpha n))}{2\hat{\varepsilon}_0^2} + \dots \right] \quad (5-14)$$

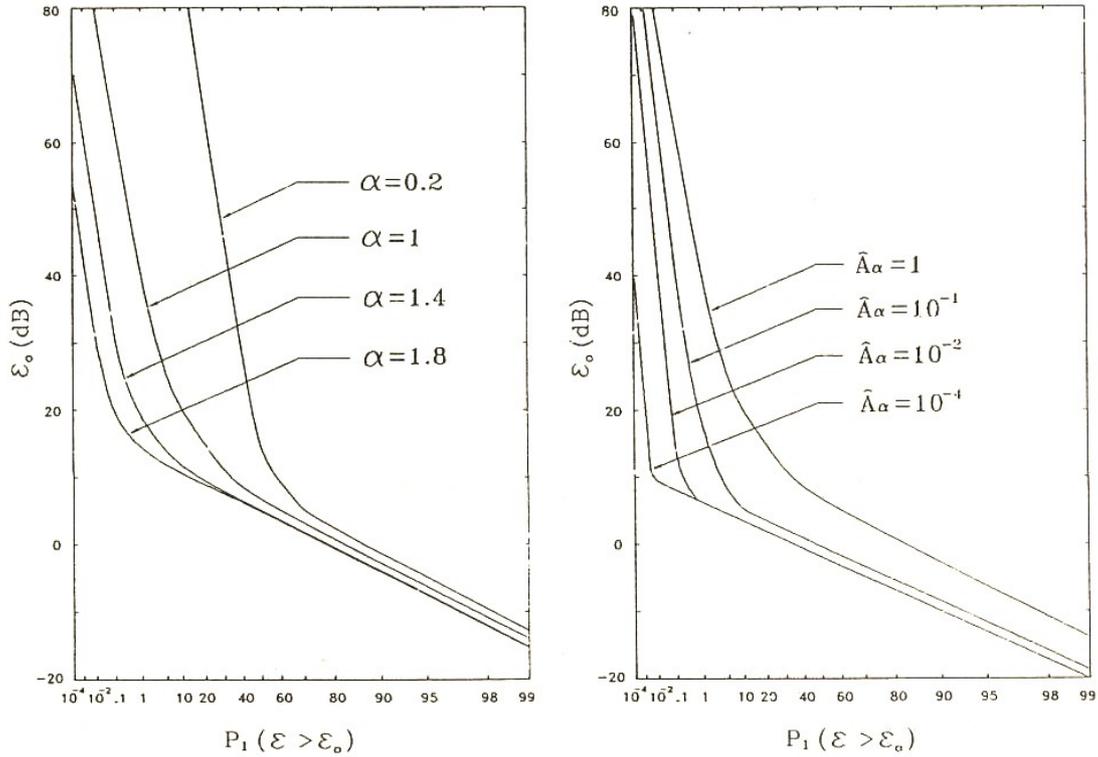
for $\varepsilon_0^2 \gg 1$

여기서 \hat{A}_α 는 실효 임펄스성 지수이다.

또한 영역 II 에 대해서는 식 (5-7)에 식 (5-11)을 대입함으로써 $\varepsilon_0 > \varepsilon_B$ 경우에 대한 확률 분포 함수 $P_1(\hat{\varepsilon} > \hat{\varepsilon}_0)_{B-II}$ 를 얻을 수 있다.

$$P_1(\varepsilon > \varepsilon_0)_{B-II} \cong \frac{e^{A_B}}{4G_B^2} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{A_B^m}{m!} \exp[-\varepsilon_0^2/2\hat{\sigma}_{mB}^2] \quad (5-15)$$

for $\varepsilon_0 > \varepsilon_B$



(a) α 변화 ($\hat{A}_\alpha = 1.0$ 인 경우) (b) \hat{A}_α 변화 ($\alpha = 0.1$ 인 경우)

[그림 5-4] B급 잡음에 대한 확률 분포.

여기서 σ_{mB} 는 B급 잡음에서 가우스 성분의 편차이다.

식 (5-14)와 식 (5-15)를 이용하여, 실효 임펄스성 지수 A_α 와 발생원 밀도 α 의 변화에 대한 B급 잡음의 APD 곡선을 그림 5-4에 나타내었다.

3. 잡음 등급별 파라미터

가. A 급 잡음

위에서 언급한 바와 같이 A 급 잡음의 특성 곡선은 식 (5-9)에 의해 구해진다. 그러므로 잡음을 측정된 데이터로부터 잡음의 통계적 모형을 계산한 후, 그 통계적 모형과 식 (5-9)가 일치하도록 핵심 파라미터 A_A , Γ'_A , σ_{mA} 를 결정한다. 3 개의 핵심 파라미터는

- (1) 임펄스 지수 (A_A) : 잡음원에서 발생하는 임펄스의 평균수를 나타낸다.
- (2) 가우스-임펄스 비 (Γ'_A) : 임펄스 성분에 대한 가우스 성분의 비율을 나타낸다. ($\Gamma'_A \equiv \sigma_G^2 / \Omega_{2A}$)
- (3) 편차 (σ_{mA}) : A 급 잡음에서의 가우스 성분의 편차이다.

나. B 급 잡음

B 급 잡음의 경우, 식 (5-14)와 식 (5-15)와 같이 잡음의 특성 곡선은 영역 I 과 영역 II 로 나뉜다. A 급 잡음과 마찬가지로 방법으로 핵심 파라미터를 결정하며, 영역 I 에서는

- (1) 실효 임펄스 지수 (\hat{A}_α) : 영역 II 의 임펄스 지수에 비례하며, 공간

밀도 전달변수에 따라 변화한다.

(2) 공간 밀도 전달변수 (α) : 잡음 발생원의 밀도 분포에 따라 변화하며, $0 < \alpha < 2$ 범위의 값을 갖게 된다. 영역 I 과 영역 II 에서 공통이다.

(3) scale factor (N_i) : 영역 I 과 영역 II 를 합성할 때, 평탄하게 연결해 주기 위한 인자이다.

의 3 가지 파라미터를 결정하며, 영역 II 에서는

(4) 임펄스 지수 (A_B) : 잡음원에서 발생하는 임펄스의 평균수를 나타낸다.

(5) 가우스-임펄스 비 (Γ'_B) : 임펄스 성분에 대한 가우스 성분의 비율을 나타낸다. ($\Gamma'_B \equiv \sigma_G^2 / \Omega_{2A}$)

(6) 굴곡점 (ε_B) : 영역 I 과 영역 II 의 굴곡점을 나타내는 변수이다.

의 3 가지 파라미터를 결정한다. 그러므로 B 급 잡음의 핵심 파라미터는 총 6 개이다.

다. C급 잡음

C 급 잡음은 정의에 의해서 A 급 잡음과 B 급 잡음이 혼입된 형태를 말한다. C 급 잡음은 두 잡음 중에서 우세 잡음이 존재하게 되며, 그 특성이 우세 잡음의 특성과 같다. 그러므로 C 급 잡음을 측정하여 통계적 모형으로 처리하면 A 급 또는 B 급 잡음의 통계적 모형과 같은 형태를 가지게 되므로, 그 우세 잡음의 처리 방법에 따라 C 급 잡음의 데이터를 처리하면 된다.

제 5-2 절 유전자 알고리즘의 개요

유전자 알고리즘(genetic algorithm)이란 자연계의 진화 현상을 구현하는 알고리즘으로, 다윈(Darwin, Charles Robert)이 주장한 적자생존과 자연도태의 원리를 이용하여 개발된 알고리즘이다. 다윈의 진화론에 의하면 집단내 개체는 주위 환경에 적합한 형질을 가질수록 생존할 확률이 높으며 교배(crossover)와 돌연변이(mutation)를 통해 더 나은 방향으로 진화하고(적자생존), 부적합한 형질을 가질수록 진화의 과정에서 점차 도태되어 간다(자연도태). 즉, 유전자 알고리즘은 이러한 자연진화의 법칙을 컴퓨터의 논리로 모방하여 일반 최적화 문제나 탐색문제의 해를 구하는 알고리즘이다 [10]~[13].

유전자 알고리즘은 기존의 탐색 기법과는 달리 집단(population)이라고 불리는 임의의 초기 해집단으로부터 출발한다. 또한 집단을 구성하는 각 개체는 게놈(genome) 혹은 염색체(chromosome)라고 부르며 유전자 알고리즘에서 문제의 해를 표현하는 역할을 한다. 생물학적으로는 게놈과 염색체의 개념이 다르지만 유전자 알고리즘에서는 구별없이 사용되고 있으며 동일한 역할을 하는 것으로 간주한다. 게놈은 반드시 그런 것은 아니지만 대개 이진 비트 스트링(ex. 10111001)으로 표현되며 세대(generation)라고 부르는 연속적인 반복 과정을 통해 진화한다. 여기서 이진 비트 0 과 1 이 DNA 에서의 네 개의 염기, 즉 아데닌(adenine, A), 티민(thymine, T), 구아닌(guanine, G), 시토신(cytosine, C)의 역할을 하게되는 것이다.

집단이 현 세대에서 다음 세대로 넘어가지 위해서는 일반적으로 선택(selection), 교배(crossover), 돌연변이(mutation)의 연산을 거쳐야 한다. 이들은 유전자 알고리즘의 기본적인 연산으로서 알고리즘의 메커니즘을 규정하고 효율성에 영향을 미치게 된다.

1. 선택 (selection)

선택은 각 개체의 적합도를 이용하여 다음 세대를 위한 집단을 새로이 생성하는 연산을 말한다. 적합도란 목적함수 값에 적당한 함수를 도입하여 그 차이를 확대시킨 값으로 이러한 과정을 스케일링이라고 부른다. 일반적으로 많이 사용되는 선택 방법은 룰렛 휠 선택으로 이는 다른 개체들의 적합도에 대한 특정 개체의 상대적인 적합도 크기를 이용하여 개체를 선택한다. 이 방법은 적합도가 클수록 선택될 확률도 높아지는 방법이며, 임의의 개체가 선택될 확률을 p 라고 할 때 식 (5-16)과 같이 계산할 수 있다.

$$p = \frac{f_i}{\sum_{j=1}^n f_j} \quad (5-16)$$

여기서, f_i 는 i 번째 개체의 적합도

2. 교배 (crossover)

교배는 두 개의 부모 계놈을 적절히 조합하여 새로운 자손을 생성하는 연산을 말한다. 이진 비트 스트링 계놈에서 교배를 행하는 간단한 방법은 먼저 임의의 교배점을 선택한 후, 이 위치를 기준으로 두 부모의 우측 부분을 교환하는 것이다(1 점 교배). 이는 이진 비트 스트링의 경우 잘 작동하는데 자료 구조의 형태에 따라 교배의 의미는 달라질 수 있다. 유전자 알고리즘의 성능은 교배 연산자의 성능에 크게 의존하기 때문에 문제에 맞는 올바른 교배 연산자를 정의 혹은 선택할 필요가 있다.

p_c 로 나타내는 교배 확률은 (교배 대상이 되는 개체의 수)/(집단의 크기)로 정의되며, 이 비율에 의해 $p_c \times$ 집단의 크기개 만큼의 계놈이 교배의 대상이 될 수 있다.

높은 교배 확률은 더 넓은 해영역을 탐색할 수 있게 하며 따라서 국부 최적화(local optimization)에 빠질 위험을 감소시킨다. 하지만 이 비율이 너무 크면 부적절한 해영역까지도 탐색하게 되므로 연산 시간이 길어지게 된다.

3. 돌연변이 (mutation)

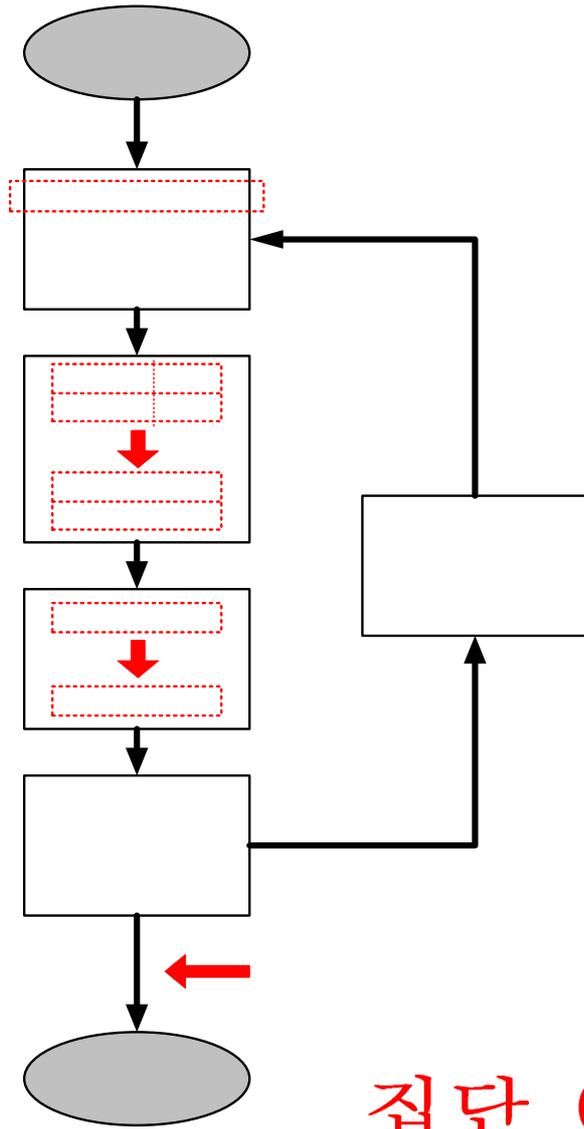
돌연변이는 계놈 내의 유전자를 임의로 변화시키는 연산을 말한다. 예를 들어 이진 비트 스트링의 경우 0 을 1 로, 혹은 1 을 0 으로 바꾸는 과정을

말한다. 만약 돌연변이가 없다면 초기 계놈의 조합 이외의 공간은 탐색할 수 없으며, 결국 원하는 최적해도 구할 수 없을 것이다. 따라서 돌연변이는 계놈의 패턴(schemata)을 전환시키는 역할을 하게 되며 이에 따라 탐색공간이 변경되어 전역 최적화(global optimization)를 수행할 수 있다.

p_m 으로 나타내는 돌연변이 확률은 (돌연변이 대상이 되는 유전자 수)/(집단 내 전체 유전자 수)로 정의된다. 만약 돌연변이 확률이 너무 높으면 임의 탐색과 비슷한 경향을 보이며, 너무 낮으면 국부 최적화를 수행할 우려가 있으므로 신중히 선택해야 한다.

4. 유전자 알고리즘의 기본 구조

유전자 알고리즘은 이상의 기본적인 연산들을 그림 5-5 와 같이 반복적으로 수행하며, 일정 세대가 되면 적합도가 높은 어떤 개체에 수렴한다. 반드시 그렇지는 않지만 일반적으로 이 개체는 문제에 대한 최적해를 나타낸다.



인코딩 (en

집단 (population)

[그림 5-5] 유전자 알고리즘의 기본 구조.

최근 유전자 알고리즘은 그 잠재력으로 인해 많은 관심을 받고 있으며, 이미 다양한 분야에서 광범위하게 응용되고 있다. 대표적인 응용의 예로는 조합 최적화 문제, 스케줄링 문제, 화상 복원, 평면 레이아웃, 패턴 인식, 유향 그래프 배치, 인공지능, 하드웨어 진화 등이 있으며 생화학,

교배 (crossover)

분자생물학, 컴퓨터공학, 기계공학, 전자/전기공학, 수학, 물리학 등 대부분의 분야에서 적용되고 있다.

역사적으로 유전자 알고리즘은 John Holland 의 저서 『Adaptive in Natural and Artificial Systems (1975)』 에 의해 처음으로 소개되었다. 이후 많은 저서도 많이 출판되었으며 1985년에는 제 1 회 유전자 알고리즘에 관한 국제회의(International Conference on Genetic Algorithm, ICGA)가 개최되었다. 이후 이 회의는 2 년마다 개최되고 있으며 이외에도 GA 와 관련된 많은 국제회의가 개최되고 있다.

5-3 절 파라미터 추출 알고리즘

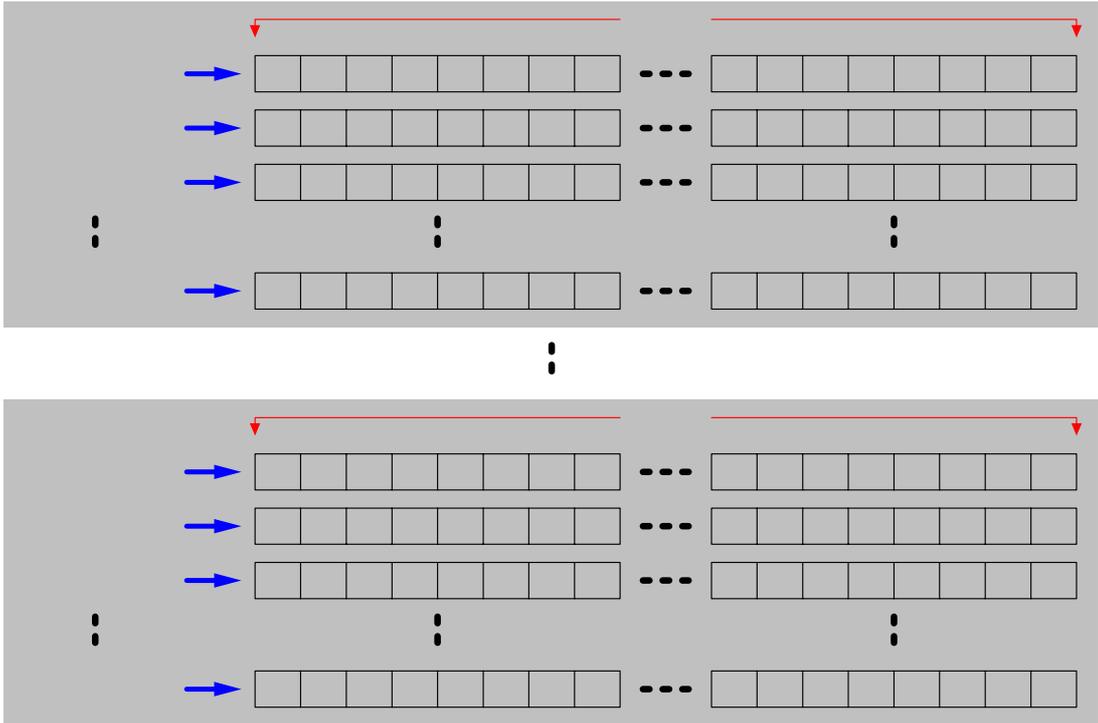
그림 5-5 와 관련하여 본 연구에서 개발된 전파 잡음 시뮬레이터의 파라미터 추출 과정에서 적용된 유전자 알고리즘은 다음과 같다^[14].

1. 초기 해집단

시행착오법과는 달리 추출되는 파라미터는 잡음의 등급 구별없이 총 9 개로 설정하였다. 이 중에서 7 개는 잡음의 진폭 확률 분포에 대한 정보를 담고 있는 잡음 파라미터이고, 나머지 2 개는 그래프를 정확하게 그리기 위한 x, y 축 보정치이다. 그 외의 측정 주파수, 측정 전파 환경, 데이터의 최대, 최소값은 유전자 알고리즘을 이용하여 추출해야 하는 파라미터가 아니고 측정 과정에서 입력을 통해 저장된 파라미터이다.

2. 인코딩 (encoding)

파라미터 추출 과정에서 유전자 알고리즘을 사용하기 위해서는 10 진수로 표현되는 9 개의 파라미터를 각각 0 과 1 의 2 진수로 인코딩해야 한다. 각각의 파라미터는 0 에서 100 까지의 10 진수를 갖을 수 있으며, 이것은 그림 5-6 과 같이 32bit 의 2 진수로 인코딩하도록 설정하였다.

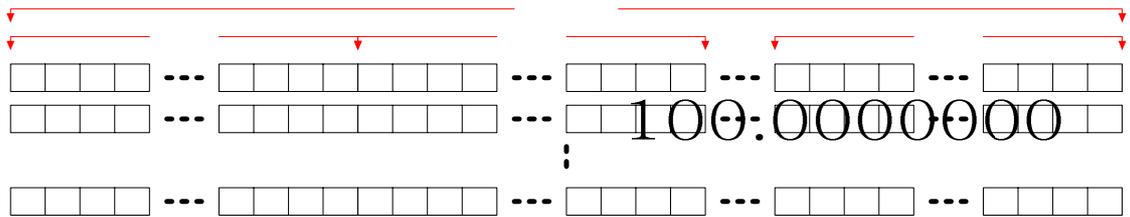


[그림 5-6] 유전자 알고리즘의 파라미터 인코딩 과정.

0.0000000023

그림 5-6 과 같이 인코딩된 9 개의 파라미터는 모두 합해져서 그림 5-7 과 같은 총 $9 \times 32 = 288$ bit 의 1 개 염색체(chromosome)를 구성하게 된다.

0.0000000046



[그림 5-7] 유전자 알고리즘의 염색체 구조.

파라미터 9

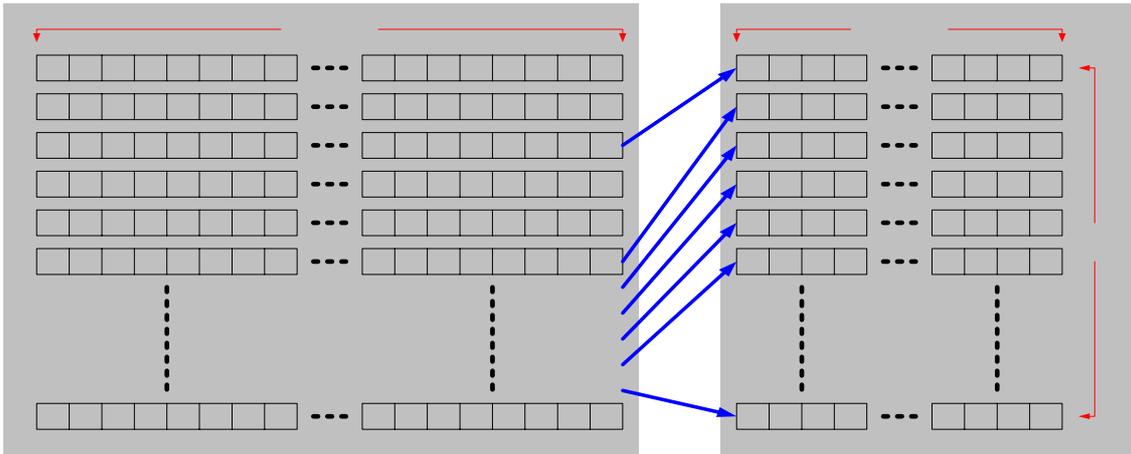
- 92 -

0.0000000000

0.0000000023

3. 집단 (population)

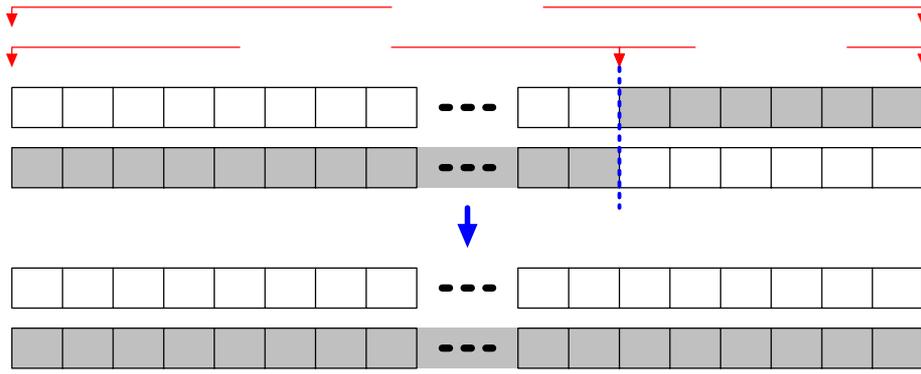
유전자 알고리즘의 다음 단계로 초기 집단(initial population)을 구성하기 위해서, 그림 5-8 과 같이 총 염색체 집단에서 랜덤하게 60 개를 선택하여 초기 집단을 구성하였다.



[그림 5-8] 유전자 알고리즘의 초기 집단 구성.

4. 교배 (crossover)

유전자 알고리즘의 다음 단계로 초기 집단의 두 염색체를 교배하여 새로운 염색체 60 개를 추가로 생성하였다. 교배 과정은 그림 5-9 와 같이, 6:4 의 교배점을 선택하여 부, 모의 유전자를 교배하는 1 점 교배 방식을 적용하였다.



[그림 5-9] 유전자 알고리즘의 교배 과정.

기존의 부모 염색체 60 개에 교배 과정을 통해 새로 생긴 자식 염색체 60 를 합하여 총 120 개의 염색체 집단을 한 세대의 집단으로 간주하여 다음 과정인 돌연변이, 적합도 계산을 시행하게 된다.

0 1 0 1 1 0

5. 돌연변이 (mutation)

0 1 1 1 0 0

돌연변이 과정은 국부 최적화(local optimization)을 피하기 위해 반드시 필요한 과정으로, 돌연변이 확률을 0.01%로 설정하여 시행하였다. 즉, 집단의 전체 34560 bit (집단의 염색체 개수 120 × 각 288 bit)중에서 4 개의 bit 를 랜덤하게 선택하여 0 을 1 로 또는 1 을 0 으로 바꾸어 주었다.

0 1 0 1 1 0

6. 적합도 계산 (fitness)

교배와 돌연변이 과정을 거친 총 120 개의 염색체에 대해 각각의 적합도

를 계산하였다. 적합도 계산은 2 진 염색체를 다시 디코딩하여 해당 10 진수 파라미터를 계산하고, 그것을 진폭 확률 분포식의 변수에 입력하여 계산한 APD 곡선과 실제 잡음을 측정하여 APD 로 처리한 곡선을 비교하여 그 차이를 에러율로 계산하였다. 에러율이 작을수록 유전자 알고리즘에서는 우성 인자가 되며, 에러율이 클수록 열성 인자가 되는 것이다. 이렇게 120 개의 염색체에 대해 모두 에러율을 계산하여 에러율이 작은 순서대로 정리한다.

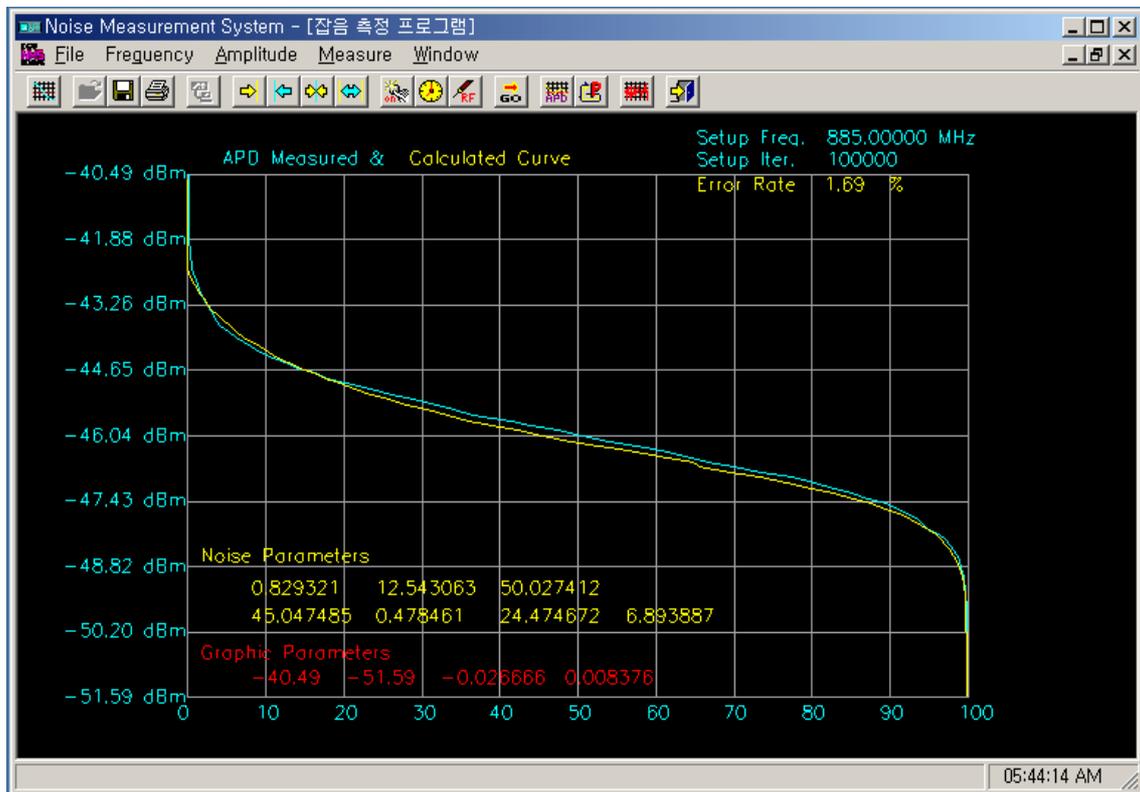
7. 선택 (selection)

적합도 계산이 완료되면 에러율이 작은 순서, 즉 우성 인자부터 순서대로 60 개의 염색체를 선택한다. 이것은 다음 세대의 부모 염색체 집단이 되며 교배 과정을 거쳐 다시 120 개의 염색체 집단이 다음 세대의 유전자 알고리즘 과정(돌연변이, 적합도 계산, 선택)을 실행하게 된다. 이러한 반복 과정이 설정된 세대수 만큼 실행되며, 유전자 알고리즘이 실행되는 과정에서 가장 에러율이 작은 염색체가 결정되고, 그 염색체로부터 최적화된 파라미터를 추출하는 것이다.

본 연구에서 개발된 잡음 측정 시뮬레이터에서는 유전자 알고리즘의 세대수를 직접 입력하도록 구성되어 있다. 세대수는 많으면 많을수록 에러율이 적은 즉, 좀더 우성인자인 파라미터를 결정할 수 있지만 계산 시간이 증가한다는 단점이 있다. 그러므로 정확도와 계산 시간을 고려하여

적절한 세대수를 결정해야 한다. 잡음 측정 시뮬레이터를 이용하여 실제 파라미터 추출을 실행해 본 결과, 최소 10,000 번의 세대수가 권장되며 이때 계산 시간은 펜티엄 3 의 CPU- 733 Mhz급의 컴퓨터에서 약 30 분 가량 소요된다. 물론 계산 속도가 빠른 컴퓨터를 사용하는 경우 시간을 단축할 수 있다.

잡음 측정 시뮬레이터로 파라미터 추출 과정을 시행하면 그림 5-10 과 같이, 계산된 APD 곡선과 측정, 처리된 APD 곡선을 함께 보여주고 또한 각각의 추출된 파라미터도 모니터 화면에 표시된다.



[그림 5-10] 파라미터 추출 결과.

제 6 장 통계적 모형 복원 프로그램

본 연구에서 개발된 잡음 측정 시뮬레이터는 크게 두가지 프로그램으로 구성되어있다. 하나는 앞에서 설명한 잡음 측정 프로그램이고 다른 하나는 제 6 장에서 설명할 확률모형 복원 프로그램이다.

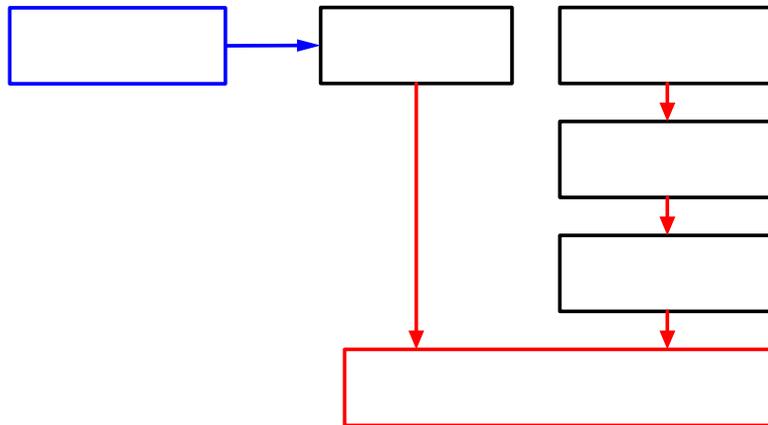
확률모형 복원 프로그램은 잡음 측정 프로그램에서 추출, 저장된 파라미터로부터 잡음의 통계적 모형, 즉 진폭 확률 분포(APD)를 복원하는 프로그램이다. 이것은 측정된 잡음의 데이터나 잡음의 APD 곡선의 데이터 등과 같이 방대한 양의 데이터 저장은 불가능하기 때문에, 잡음 측정 프로그램에서 APD 곡선의 파라미터만을 추출, 저장하여 언제 어디서나 필요에 따라 손쉽게 잡음의 통계적 모형을 복원할 수 있도록 하는 것이 목적이다.

제 6-1 절 잡음의 통계적 모형 복원

잡음의 통계적 모형의 복원은 잡음 측정 프로그램에 추출, 저장된 파라미터를 입력으로 하여 잡음의 진폭 확률 분포를 복원하는 것이다. 복원된 진폭 확률 분포는 실제 잡음을 측정하여 처리된 진폭 확률 분포와 거의 유사하며, 그 차이는 에러율 정도의 차이를 보인다.

제 6-2 절 통계적 모형 복원 알고리즘

본 연구에서 개발된 잡음 측정 시뮬레이터 중에서 확률모형 복원 프로그램의 알고리즘은 그림 6-1 과 같다. 확률모형의 복원은 두가지 방법으로 이루어지며, 하나는 잡음 측정 프로그램에서 파일로 저장된 파라미터를 불러와서 잡음의 APD 를 복원하는 것이고 다른 하나는 추출된 파라미터를 일일이 입력하여 복원하는 것이다.



[그림 6-1] 확률모형 복원 프로그램의 순서도.

확률모형 복원 프로그램을 이용하여 잡음의 진폭 확률 분포(APD)를 복원한 결과는 그림 6-2 와 같다. 복원된 APD 는 모니터 화면에 표시되며, 측정 주파수와 측정 전파 환경도 표시된다. 이 복원된 APD 는 잡음 측정 프로그램에 측정, 처리된 APD 와 에러율 차이내에서 같은 결과를 보인다.



[그림 6-2] 확률모형 복원의 결과.

제 7 장 그래픽 사용자 환경 프로그램

그래픽 사용자 환경(graphic user interface : GUI)는 컴퓨터 시스템이나 프로그램을 사용하기 위해, 기존에 사용했던 명령어 입력 방식인 텍스트 사용자 환경(text user interface : TUI)과는 달리 메뉴나 각 명령이 담긴 아이콘 그림을 마우스로 눌러서 사용하는 방식을 의미한다. 이것은 초보자라도 쉽게 사용할 수 있도록 시각 정보를 이용한 맨-머신 인터페이스(man-machine interface)로 메뉴나 아이콘 등의 그래픽 환경을 통하여 컴퓨터와 정보를 교환하게 된다^[15].

텍스트 사용자 환경의 경우 사용자가 DOS 환경에서 키보드를 사용하여 명령어를 입력하는 방식으로 작업을 수행하고 이 작업을 처리한 컴퓨터가 작업 결과를 모니터 화면에 일일이 문자로 표시하는 반면, 그래픽 사용자 환경에서는 키보드 대신에 마우스 등과 같은 장치를 사용하여 화면에 나타나 있는 메뉴나 아이콘 중에서 하나를 선택하여 작업을 지시하고 컴퓨터 역시 작업 결과를 그래픽 형태로 만들어서 모니터 화면에 표시하는 방법을 사용한다.

현재 윈도우 운영체제는 그래픽 사용자 환경을 지원하며, 대부분의 응용 프로그램들도 윈도우 운영체제와 같은 그래픽 사용자 환경이나 자신들만의 독특한 그래픽 사용자 환경을 가미하여 사용한다. 이러한 그래픽 사용자 환경의 요소들은 윈도우, 풀다운 메뉴, 단추, 스크롤바, 아이콘, 워저드, 마우스 같은 것들이 있다.

잡음 측정 시뮬레이터 역시 이러한 그래픽 사용자 환경을 적용하여 처음

사용하는 사람이라도 좀 더 손쉽게 사용할 수 있도록 구성하고, 사용하는데 최대의 편의를 제공할 수 있도록 하였다.

제 7-1 절 그래픽 사용자 환경 개발 도구

잡음 측정 시뮬레이터의 그래픽 사용자 환경(graphic user interface : GUI)은 Microsoft Visual C++ 6.0 의 MFC(Microsoft Foundation Class)를 이용하여 구성하였다. MFC 는 C++ 프로그래밍 언어를 기반으로 한 Win32 응용 프로그램 제작을 위한 C++ 클래스 라이브러리의 집합으로, 현재 응용 프로그램 개발의 사실상 표준으로 자리잡고 있다.

MFC 는 700 개가 넘는 방대한 Win32 API(application programming interface)를 기반으로 자주 사용되는 내용들을 클래스로 묶어 놓아 편리하게 사용할 수 있으며, 새로운 기술이나 내용들이 개발될 때마다 해당 API 를 클래스화하여 윈도우 프로그래머 들에게 제공되는 아주 유용한 클래스 라이브러리이다.

잡음 측정 시뮬레이터의 개발에 MFC 를 사용하면, Win32 SDK(software development kit)를 이용하여 직접 프로그래밍하는 것보다 다음과 같은 많은 이점이 있다.

- 객체지향 기술을 이용하여 C++ 프로그래밍을 하면서도 SDK 함수를 그대로 사용할 수 있다.
- SDK 를 직접 이용하여 프로그래밍 하는 것에 비해 훨씬 더 간편하다.
- 강한 타입 체크(strong type checking), 예외 처리(exception handling), 객체의 생성자와 소멸자를 이용한 메모리 할당과 해지 등 C++가 제공하는 이점을 누릴 수 있다.
- 안전한 동적 메모리 관리, 할당 영역 검증, 디버깅(debugging) 등의

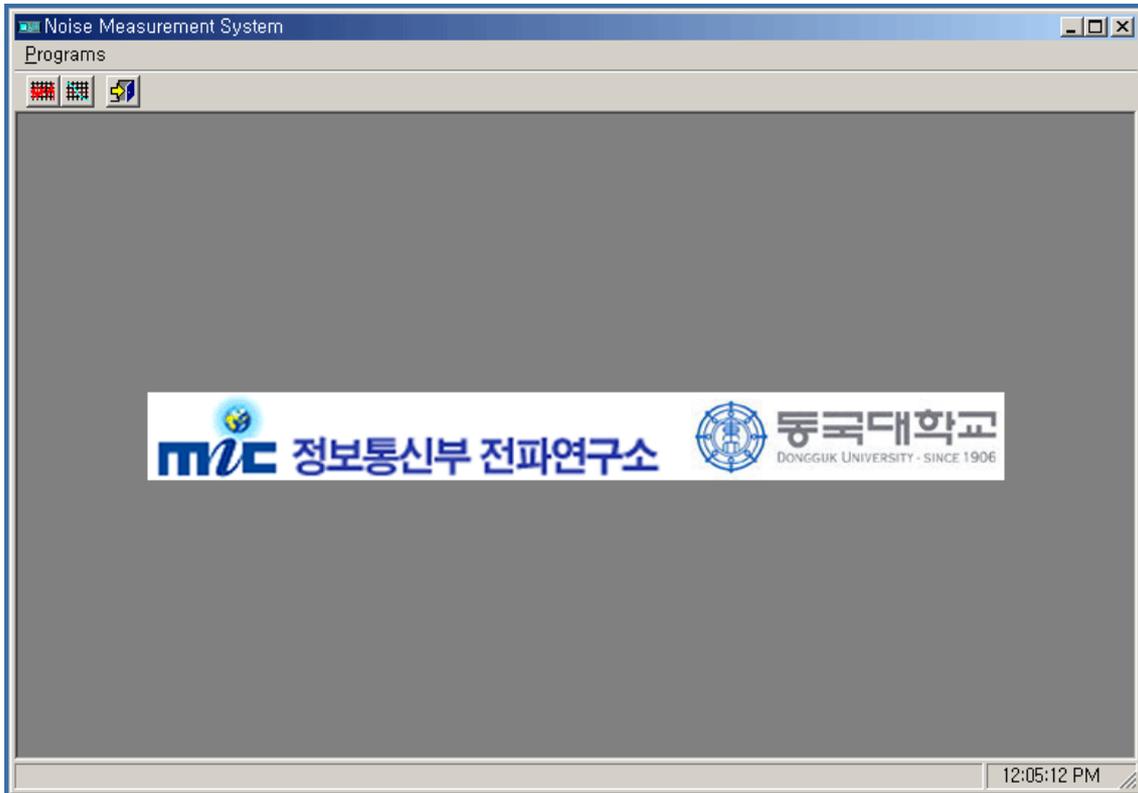
기능을 활용하여 안전한 프로그램을 작성하는데 도움이 된다.

- 이식성(portability)을 보장받을 수 있다. MFC 로 작성된 프로그램은 매킨토시나 유닉스와 같은 버전으로 포팅이 가능하다.

MFC 를 이용한 프로그래밍에 대한 자세한 설명 및 사용 방법은 본 연구 과제의 주제가 아니므로 Microsoft Visual C++ 사용 설명서를 참고하기 바란다.

제 7-2 절 잡음 측정 시뮬레이터의 사용자 환경

『전파 잡음의 통신영향 평가 시뮬레이터 개발』에서 개발된 잡음 측정 시뮬레이터는 다음의 그림 7-1 과 같은 그래픽 사용자 환경을 갖는다.



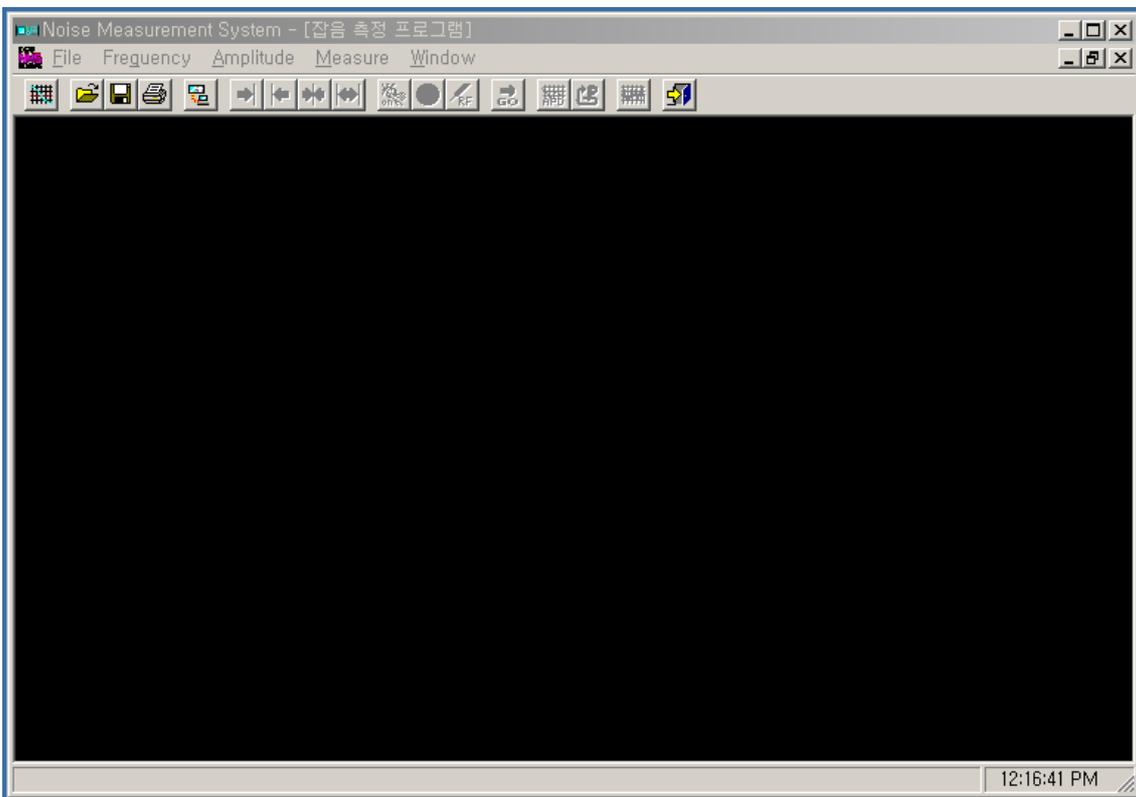
[그림 7-1] 잡음 측정 시뮬레이터의 초기 화면.

잡음 측정 시뮬레이터는 크게 두 가지 프로그램으로 세분화 할 수 있다. 하나는 스펙트럼 어널라이저를 제어하여 잡음을 측정하고 측정된 잡음을 통계적 모형으로 처리하여 표시하며, 통계적 모형으로부터 핵심 파라미터를 추출하는 잡음 측정 프로그램이고, 다른 하나는 추출된 파라미터를 입력

받거나 저장된 파라미터 파일을 열어서 통계적 모형으로 복원하는 확률모형 복원 프로그램이다.

각각의 프로그램은 잡음 측정 시뮬레이터의 초기 화면에서 메뉴 및 아이콘을 마우스로 선택함으로써 독립적으로 시행된다.

다음의 그림 7-2 와 그림 7-3 은 각각의 잡음 측정 프로그램과 확률모형 복원 프로그램의 그래픽 사용자 환경을 보여주는 것이다.



[그림 7-2] 잡음 측정 프로그램의 초기 화면.

두 프로그램은 그래픽 사용자 환경이라는 의미에 맞게 모든 명령은 메뉴 및 아이콘을 통해서 실행되며, 윈도우 응용 프로그램이 기본적으로 가지고

있는 파일 열기, 저장, 프린트 등과 같은 File 명령과 윈도우 크기 조정, 윈도우 닫기, 윈도우의 수평/수직 정렬 등과 같은 Window 명령을 가지고 있다.



[그림 7-3] 확률모형 복원 프로그램의 초기 화면.

잡음 측정 프로그램과 확률모형 복원 프로그램의 각 메뉴에 대한 설명과 전체 프로그램의 사용 방법은 연구 보고서 부록의 『잡음 측정 시뮬레이터 사용 설명서』에서 자세하게 설명하였다.

제 8 장 결 론

랜덤한 데이터인 전파 잡음이 통신에 미치는 영향을 측정하기 위해서는 잡음을 통계적 모형으로 표현하여 확실적인 특성을 파악하는 것이 무엇보다도 중요하다. 또한 측정 주파수, 시간, 지역, 전파 환경 등의 여러 가지 변수에 대해 전파 잡음을 측정하면 그 데이터 양이 매우 방대해 지기 때문에, 전파 잡음의 측정 데이터를 DB 화하여 활용하는 것은 매우 어려운 일이다. 그러므로 전파 잡음의 데이터 양을 줄이는 방안에 대한 연구가 필요하다.

본 연구에서는 전파 잡음을 측정하여 통계적 모형으로 처리하고, 그 통계적 모형으로부터 파라미터를 추출, 저장하여 필요에 따라 언제든지 잡음의 통계적 모형을 복원하는 기능을 갖는 잡음 측정 시뮬레이터를 개발하였다. 특히 데이터 양을 줄이기 위한 파라미터 추출 과정에 유전자 알고리즘(genetic algorithm)을 사용하여 기존의 시행착오(trial and error)법에 비해 추출 시간의 단축과 컴퓨터에 의한 추출 과정의 자동화를 실현하였으며 국부 최적화(local optimization)의 가능성을 배제하고 전역 최적화(global optimization)가 가능하도록 하였다.

본 잡음 측정 시뮬레이터를 이용하여 실제 잡음을 측정해 본 결과, 잡음 측정 시뮬레이터의 목적에 맞게 측정, 처리된 잡음의 통계적 모형과 파라미터로 계산하여 복원된 잡음의 통계적 모형은 에러율 1~2%로 거의 일치하였다.

그리고 전파 잡음의 통계적 모형을 비교적 정확하게 표현하기 위해서

전파 잡음을 1,000,000 번 반복 측정하여 파일로 저장하는 경우 파일의 크기가 약 12.6MByte 이고, 본 잡음 측정 시뮬레이터에서 적용한 파라미터 추출 방법을 사용하여 파라미터 정보만을 저장하는 경우 파일의 크기가 약 712 Byte 로 데이터 저장량이 약 0.0057%로 감소하게 된다.

앞으로 본 연구에서 개발된 잡음 측정 시뮬레이터를 이용하여 다양한 주파수, 시간, 지역, 전파 환경에서 전파 잡음의 측정, 통계적 모형 처리, 파라미터 추출, 파라미터 저장하는 전파 잡음의 DB 화 작업이 수반되어야 할 것이다. 또한 실제 전파 잡음이 통신에 미치는 영향을 실험하기 위해서 파라미터로 표현된 실외의 전파 잡음을 실내 실험실에서 필요에 따라 언제든지 잡음의 파형으로 복원하는 방안에 대한 연구도 필요할 것이다. 이를 위하여 잡음 측정 시뮬레이터를 이용하여 추출된 전파 잡음의 파라미터를 입력으로 잡음의 파형을 복원하여 출력하는 잡음 재생 시뮬레이터의 개발도 요구되는 바이다.

참 고 자 료

- [1] Neil J. Boucher, “The cellular radio handbook,” *John Wiley & Sons, Inc.*, 4th edition, 2001.
- [2] Antonio Meloni, Paolo Palangio, and A. C. Fraser-Smith, “Some characteristics of the ELF/VLF radio noise measured near L’Aquila, Italy,” *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 40, no. 2, pp. 233–236, Feb. 1992.
- [3] David Middleton, “Statistical-physical models of electromagnetic interference,” *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, vol. 19, no. 3, pp. 106–127, Aug. 1977.
- [4] David Middleton, “Non-Gaussian noise models in signal processing for telecommunications: new methods and results for class A and class B noise models,” *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 45, no. 4, May 1999.
- [5] Pierre Hanna and Myriam Desainte-Catherine, “Time scale modification of noises using a spectral and statistical model,” *Acoustic, Speech, and Signal Processing Int. Conf.*, vol. 6, pp. 181–184, 2003.

[6] Guoying Chen, Peikang Huang, and Hongcheng Yin, “A statistical model of radar target glint based on discrete differenced gaussian noise,” *IEEE Trans. Antennas Propagat., Soc. Int. Sym.*, vol. 2, pp. 1418–1421, July 1996.

[7] 윤현보, “국내의 전자파환경 실태조사(II),” 한국무선국관리사업단, 연구보고서, 1994.

[8] 윤현보, “디지털 이동전화 주파수 대역의 인위적 잡음의 측정 및 모형화 연구,” 한국전자통신연구원, 연구보고서, 1996.

[9] David Parsons, “The mobile radio propagation channel,” *John Wiley & Sons. Inc.*, 1992.

[10] Randy Haupt, “Comparison between genetic and gradient-based optimization algorithms for solving electromagnetics problems,” *IEEE Trans. Magnetism*, vol. 31, no. 3, pp. 1932–1935, May 1995.

[11] J. Michael Johnson and Yahya Rahmat-Samii, “Genetic algorithms in electromagnetics,” *IEEE Trans. Antennas Propagat., Soc. Int. Sym.*, vol. 2, pp. 21–26, July 1996.

- [12] G. A. Rovithankis, M. Maniadakis, and M. Zervakis, "A hybrid neural network/genetic algorithm approach to optimizing feature extraction for signal classification," *IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics Part B: Cybernetics*, pp. 1–8, 2003.
- [13] Zhenyan Li, Huachun Dong, and Taifan Quan, "Apply genetic algorithm to parameter estimation in chaotic noise," *IEEE Trans. Signal Processing, Int. Conf.*, vol. 4, pp. 1399–1402, Aug. 2002.
- [14] 박성수, "C++로 구현한 유전자 알고리즘," (주)한울출판사, 2001.
- [15] 이형배, "이형배의 비주얼 C++ 6," (주)사이버출판사, 2000.
- [16] <http://prosys.korea.ac.kr/~tcleee/matlab/search1.html>
- [17] <http://www.ni.com>
- [18] HP 8590 E-series and L-series spectrum analyzers and HP 8591C cable TV analyzer programmer's guide.
- [19] <http://www.korea.tm.agilent.com/DN>

[20] LG SA-9270A 스펙트럼 분석기 프로그래밍 설명서

부 록

잡음 측정 시뮬레이터 (Noise Measurement System)

사용 설명서



동국대학교 전자공학과

전자파 응용 실험실

목 차

I. 기본 사항

1. 잡음 측정 시뮬레이터 사양
2. 컴퓨터 - 스펙트럼 어널라이저 인터페이스 (GPIB 카드) 설치
3. 잡음 측정 시뮬레이터 시작 / 종료
4. 메인 화면 구성
5. 잡음 측정 프로그램 화면 구성
6. 확률모형 복원 프로그램 화면 구성

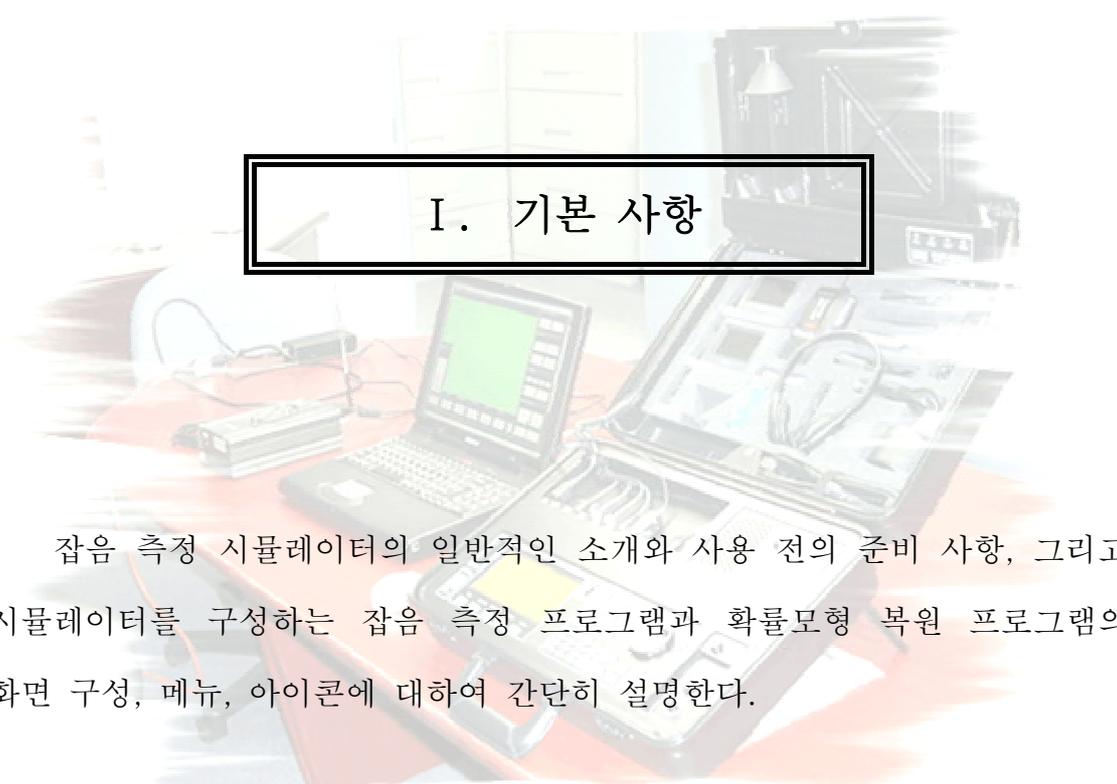
II. 잡음 측정 프로그램

7. 스펙트럼 어널라이저 설정
8. 스펙트럼 어널라이저 제어
9. 잡음 측정 주파수 설정
10. 반복 측정 횟수 설정
11. 측정 전파 환경 기술
12. 잡음 측정 시작
13. 확률, 통계적 모형 계산
14. 파라미터 추출

III. 확률모형 복원 프로그램

15. 저장된 APD 파일 (*.apd) 열기
16. 잡음 측정 주파수 입력

17. 측정 전과 환경 입력
18. 데이터 최대, 최소값 입력
19. 그래프 x, y 축 보정치 입력
20. 잡음 파라미터 입력



I. 기본 사항

잡음 측정 시뮬레이터의 일반적인 소개와 사용 전의 준비 사항, 그리고 시뮬레이터를 구성하는 잡음 측정 프로그램과 확률모형 복원 프로그램의 화면 구성, 메뉴, 아이콘에 대하여 간단히 설명한다.

1. 잡음 측정 시뮬레이터 사양

i. 개발 소프트웨어

- ① 기본 소스 프로그램 : Microsoft Visual C++ 6.0
- ② 그래픽 사용자 환경(graphic user interface : GUI) 프로그램 :
Microsoft Visual C 의 MFC(Microsoft Foundation Class)
라이브러리
- ③ 스펙트럼 분석기 제어 프로그램 : National Instruments 의 GPIB
라이브러리
- ④ 유전자 알고리즘(genetic algorithm : GA) 프로그램 :
Massachusetts Institute of Technology 의 GA 라이브러리

ii. 사용 OS

- ① Window 95/98
- ② Window 2000
- ③ Window XP

iii. 운용 환경

- ① Interface : National Instrument 사의 GPIB 카드
- ② CPU : Pentium III - 733 MHz 이상
- ③ RAM : 128 M 이상

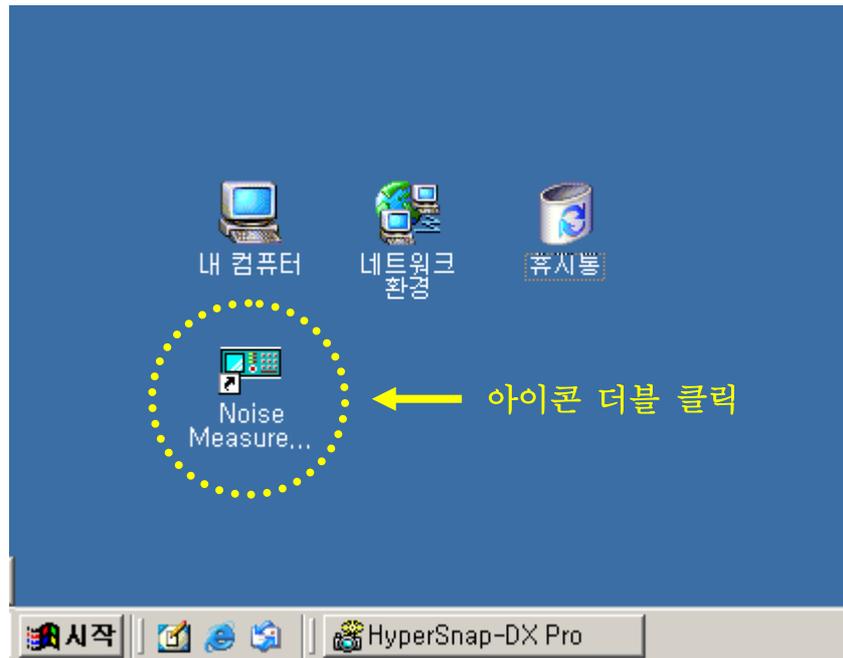
2. 컴퓨터 - 스펙트럼 어널라이저 인터페이스(GPIB 카드) 설치

잡음 측정 시뮬레이터를 이용하여 환경 잡음을 측정하기 위해서는 시뮬레이터가 설치된 컴퓨터와 스펙트럼 어널라이저를 연결해야 한다. 스펙트럼 어널라이저는 GPIB 카드를 통해서 컴퓨터로부터 제어 신호를 받아 잡음 측정의 목적에 맞게 동작하게 되므로, 이를 위해서는 GPIB 카드를 컴퓨터에 장착하고 관련 소프트웨어를 설치하여야 한다. 본 잡음 측정 시뮬레이터는 스펙트럼 제어를 위하여 National Instruments 사의 GPIB 카드를 사용하였으며, 관련 라이브러리를 명령어로 사용하였다. 그러므로 본 시뮬레이터가 정상적인 동작을 하기 위해서는 National Instrument 사의 GPIB 카드를 사용해야 하며, GPIB 카드의 설치를 위한 소프트웨어는 GPIB 구입시 제공되는 것으로 관련 사용 설명서를 참고하기 바란다.

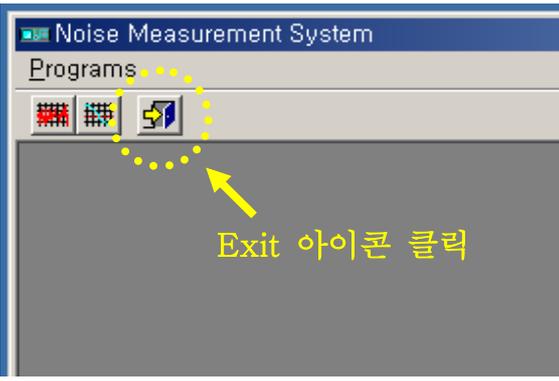
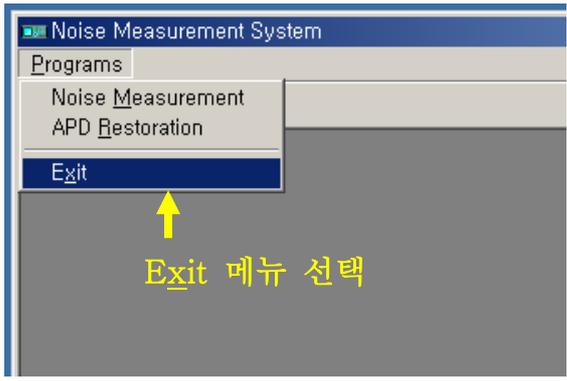
참고로 컴퓨터와 스펙트럼 어널라이저의 인터페이스는 IEEE 488 에서 국제 표준으로 규정하고 있으므로, 다른 제조사의 인터페이스를 사용하여도 심각한 오류는 발생하지 않을 것이다. 그러나 컴퓨터 제어 명령어가 다른 인터페이스나 계측기를 사용하면 정상적으로 동작하지 않을 수도 있다.

3. 잡음 측정 시뮬레이터 시작 / 종료

잡음 측정 시뮬레이터(Noise Measurement System : NMS)을 시작하려면 윈도우의 바탕 화면에 복사된 Noise Measurement System 아이콘을 더블 클릭하면 된다.

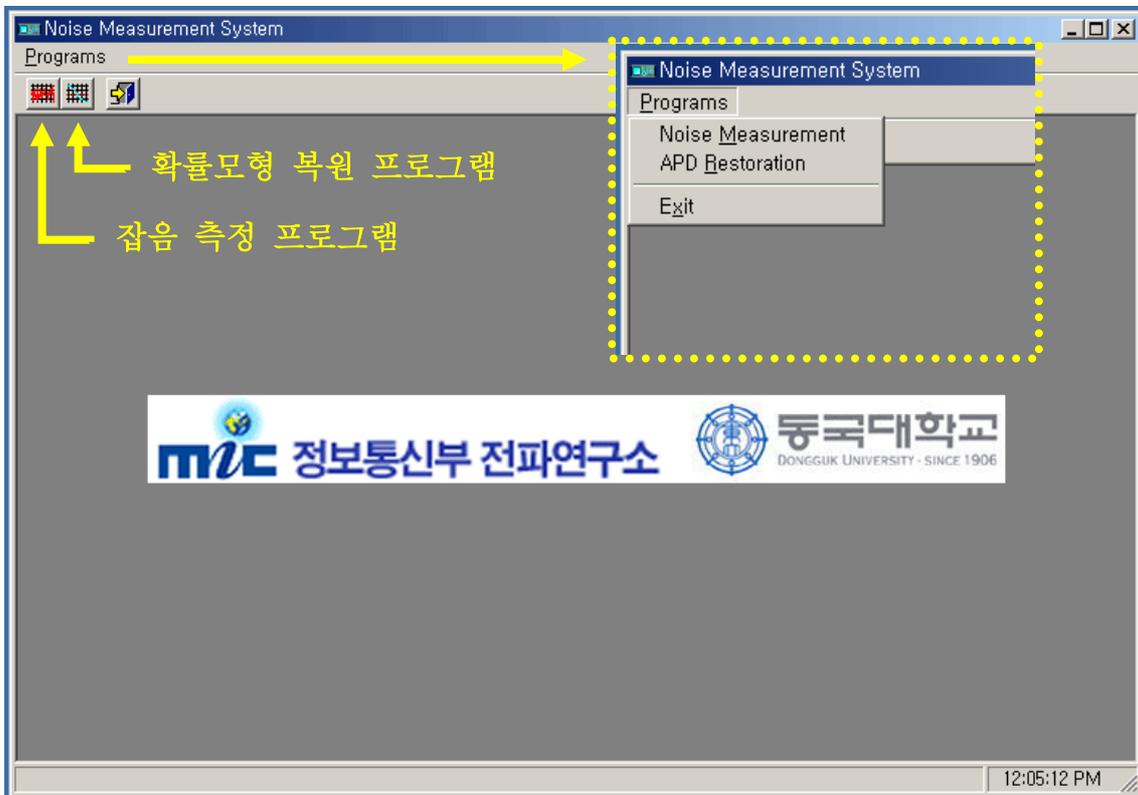


잡음 측정 시뮬레이터를 종료하려면 프로그램 상의 Programs > Exit 를 선택하거나 Exit 아이콘을 클릭하면 된다.



4. 메인 화면 구성

잡음 측정 시뮬레이터의 메인 화면은 다음의 그림과 같다. 잡음 측정 시뮬레이터는 잡음을 측정하여 통계적 모형으로 처리하고 그 통계적 모형에서 파라미터를 추출하여 저장하는 잡음 측정 프로그램과 추출, 저장된 파라미터로부터 잡음의 통계적 모형을 복원하는 확률모형 복원 프로그램으로 구성되어 있다.

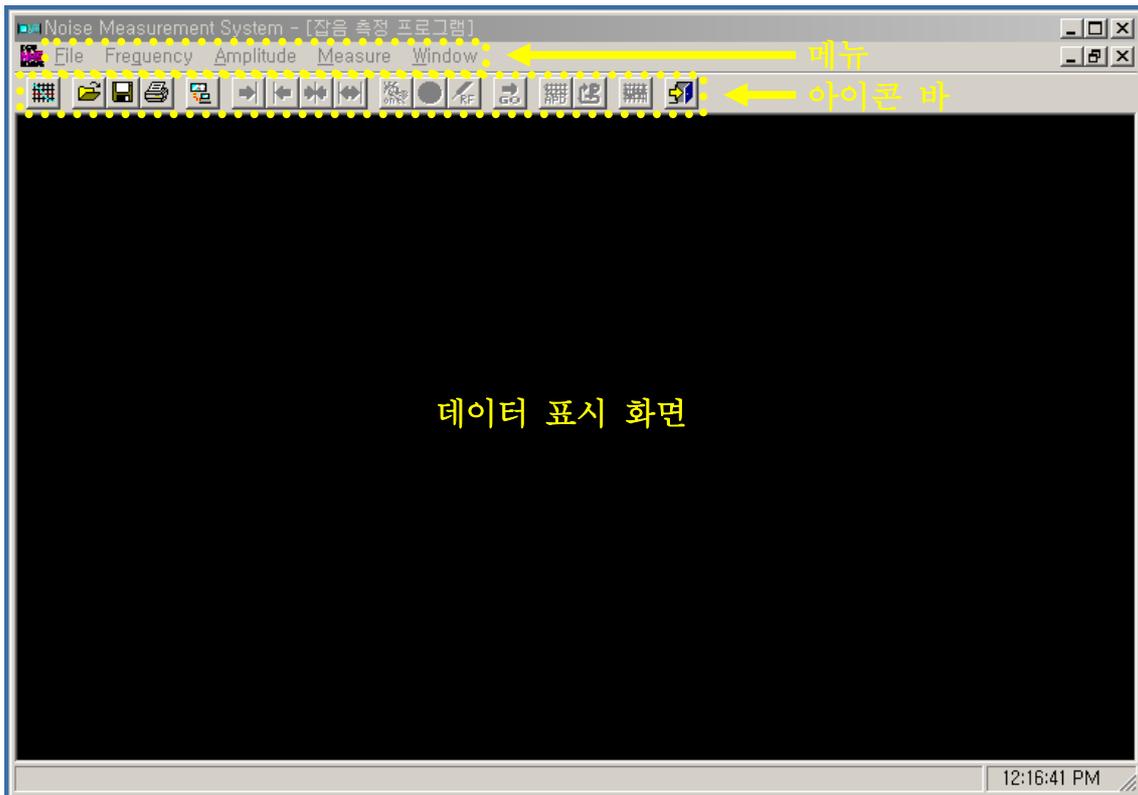


잡음 측정 프로그램은 Programs > Noise Measurement 를 확률모형

복원 프로그램은 Programs > APD Restoration 를 선택하거나,
프로그램의 아이콘바에서 잡음 측정 프로그램 아이콘 또는 확률모형 복원
프로그램 아이콘을 클릭 함으로써 각각 실행된다.

5. 잡음 측정 프로그램 화면 구성

스펙트럼 어널라이저를 제어하여 잡음을 측정하고, 측정된 잡음 데이터를 통계적 모형으로 처리하며, 통계적 모형으로부터 파라미터를 추출, 저장하는 기능을 갖는 잡음 측정 프로그램의 화면은 다음의 그림과 같다.



각 메뉴의 기능에 대한 설명은 다음과 같다.

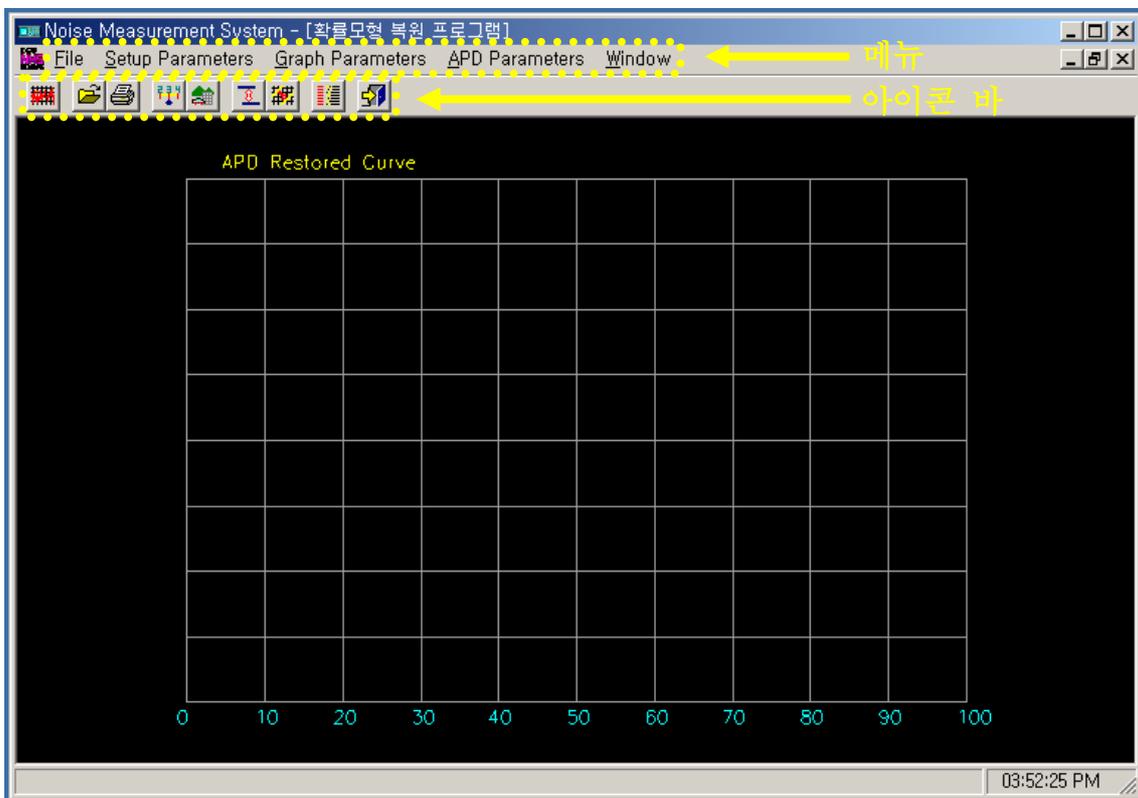
메뉴	하위메뉴	설명
File	S <u>pectrum Setup</u>	- 스펙트럼 어널라이저와 컴퓨터간의 인터페이스를 위해서 GPIB Card 를 설정한다.
	<u>R</u> efresh All	- 모니터 화면을 새로 표시한다.
	<u>O</u> pen	- 저장된 파일을 연다.
	Sa <u>v</u> e <u>A</u> s	- 모니터 화면을 파일로 저장한다.
	<u>P</u> rint	- 모니터 화면을 인쇄한다.
	<u>C</u> lose	- 잡음 측정 프로그램을 종료한다.
	<u>E</u> xit	- 잡음 측정 시뮬레이터를 종료한다.
Frequency	<u>C</u> enter	- 스펙트럼 어널라이저의 center frequency 를 설정한다.
	<u>S</u> pan	- 스펙트럼 어널라이저의 span frequency 를 설정한다.
	Sta <u>r</u> t	- 스펙트럼 어널라이저의 start frequency 를 설정한다.
	Sto <u>p</u>	- 스펙트럼 어널라이저의 stop frequency 를 설정한다.
Amplitude	<u>d</u> Bm	- 스펙트럼 어널라이저를 dBm 단위로 설정한다.
	d <u>B</u> mV	- 스펙트럼 어널라이저를 dBmV 단위로 설정한다
	d <u>B</u> <u>u</u> V	- 스펙트럼 어널라이저를 dBuV 단위로 설정한다
	<u>V</u> olts	- 스펙트럼 어널라이저를 Volts 단위로 설정한다
	<u>W</u> atts	- 스펙트럼 어널라이저를 Watts 단위로 설정한다
Measure	<u>F</u> requency	- 스펙트럼 어널라이저에 설정된 주파수 범위내에서 잡음을 측정하고자 하는 주파수를 설정한다.
	<u>I</u> teration	- 반복 측정 횟수를 설정한다.
	<u>E</u> nvironment	- 측정하는 전파 환경을 기술한다. 위치, 날짜, 시간, 특이점 등을 기술할 수 있다.
	Measurement <u>S</u> tart	- 전파 잡음의 파형의 반복 측정을 시작한다.
	APD <u>C</u> alculate	- 잡음의 파형으로부터 통계적 모형(APD)을 계산한다.
	<u>P</u> arameters Extract	- 계산된 통계적 모형으로부터 파라미터를 추출한다.
Window	<u>C</u> ascade	- 열린 창을 cascade 로 정리한다.
	Tile <u>H</u> orizontally	- 열린 창을 horizontal 로 정리한다.
	Tile <u>V</u> ertically	- 열린 창을 vertical 로 정리한다.
	Close <u>A</u> ll	- 열린 창을 모두 닫는다.

아이콘 바의 각 아이콘이 해당하는 메뉴는 다음과 같으며 그 기능은 메뉴에서 설명한 것과 동일하다. 프로그램 상에서 아이콘에 마우스를 가져가면 메뉴가 표시된다.

	해당 메뉴		해당 메뉴		해당 메뉴
	확률모형 복원 프로그램		Open		Save <u>A</u> s
	Print		Spectrum Setup		Start
	Stop		Center		Span
	Frequency		Iteration		Environment
	Measurement Start		APD Calculate		Parameters Extract
	Refresh All		Exit		

6. 확률모형 복원 프로그램 화면 구성

잡음 측정 프로그램으로부터 추출된 파라미터를 입력하거나 저장된 파라미터를 열어서 잡음의 통계적 모형(amplitude probability distribution : APD)을 복원하는 기능을 갖는 확률모형 복원 프로그램의 화면은 다음과 같다.

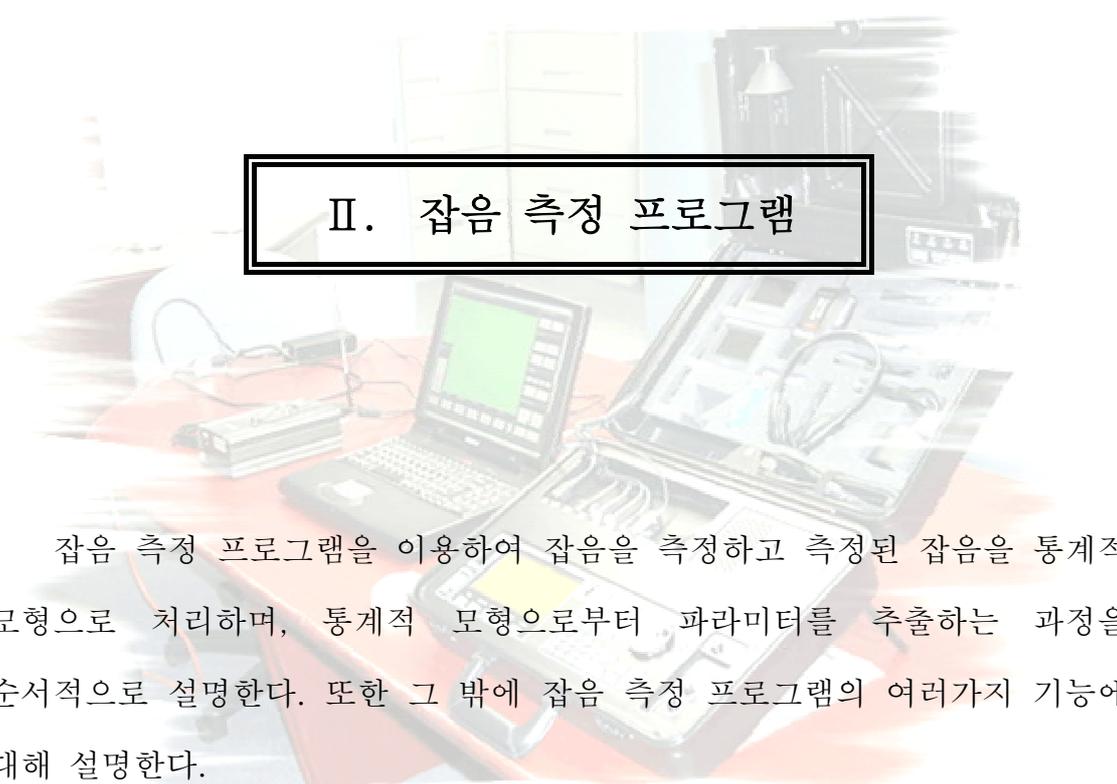


각 메뉴의 기능에 대한 설명은 다음과 같다

메뉴	하위메뉴	설명
File	<u>O</u> pen	- 저장된 파라미터 파일을 열어서 잡음의 통계적 모형을 복원한다.
	<u>P</u> rint	- 모니터 화면을 인쇄한다.
	<u>C</u> lose	- 확률모형 복원 프로그램을 종료한다.
	<u>E</u> xit	- 잡음 측정 시뮬레이터를 종료한다.
Setup Parameters	<u>F</u> requency	- 잡음을 측정할 주파수를 입력한다.
	<u>E</u> nvironment	- 잡음을 측정할 전파 환경을 입력한다. 위치, 날짜, 시간, 특이점 등을 입력할 수 있다.
Graph Parameters	<u>M</u> aximum & <u>M</u> inimum	- 측정된 잡음의 최대, 최소값을 입력한다.
	<u>V</u> alue <u>U</u> nits	- 측정된 잡음의 크기 단위를 입력한다. dBm, dBmV, dBuV, Volts, Watts 를 선택한다.
	x & y Axis <u>T</u> ilt	- 확률모형의 그래프를 그리기 위한 x, y 축 보정값을 입력한다.
<u>A</u> PD Parameters		- 잡음 측정 프로그램에서 추출된 파라미터 7 개를 입력한다.
Window	<u>C</u> ascade	- 열린 창을 cascade 로 정리한다.
	Tile <u>H</u> orizontally	- 열린 창을 horizontal 로 정리한다.
	Tile <u>V</u> ertically	- 열린 창을 vertical 로 정리한다.
	Close <u>A</u> ll	- 열린 창을 모두 닫는다.

아이콘 바의 각 아이콘이 해당하는 메뉴는 다음과 같으며 그 기능은 메뉴에서 설명한 것과 동일하다. 프로그램 상에서 아이콘에 마우스를 가져가면 메뉴가 표시된다.

	해당 메뉴		해당 메뉴		해당 메뉴
	잡음 측정 프로그램		<u>O</u> pen		<u>P</u> rint
	<u>F</u> requency		<u>E</u> nvironment		<u>M</u> aximum & Minimum
	x & y Axis <u>T</u> ilt		<u>A</u> PD Parameters		<u>E</u> xit

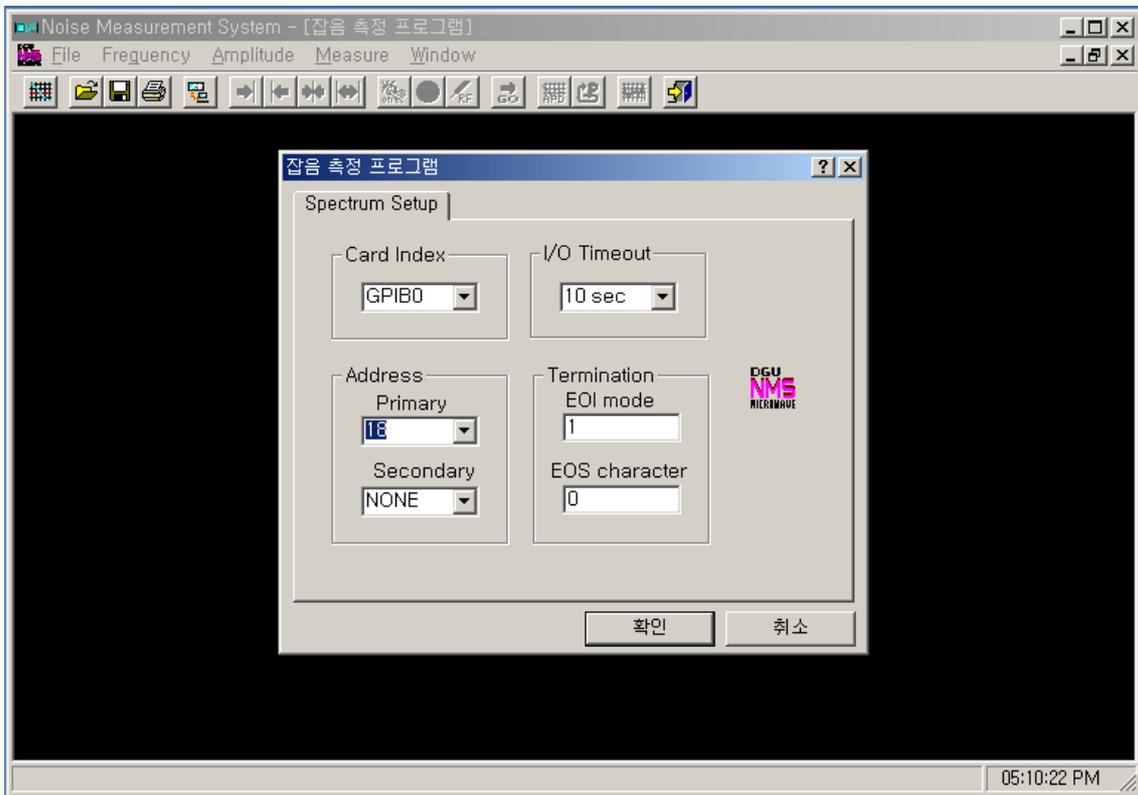


Ⅱ. 잡음 측정 프로그램

잡음 측정 프로그램을 이용하여 잡음을 측정하고 측정된 잡음을 통계적 모형으로 처리하며, 통계적 모형으로부터 파라미터를 추출하는 과정을 순서적으로 설명한다. 또한 그 밖에 잡음 측정 프로그램의 여러가지 기능에 대해 설명한다.

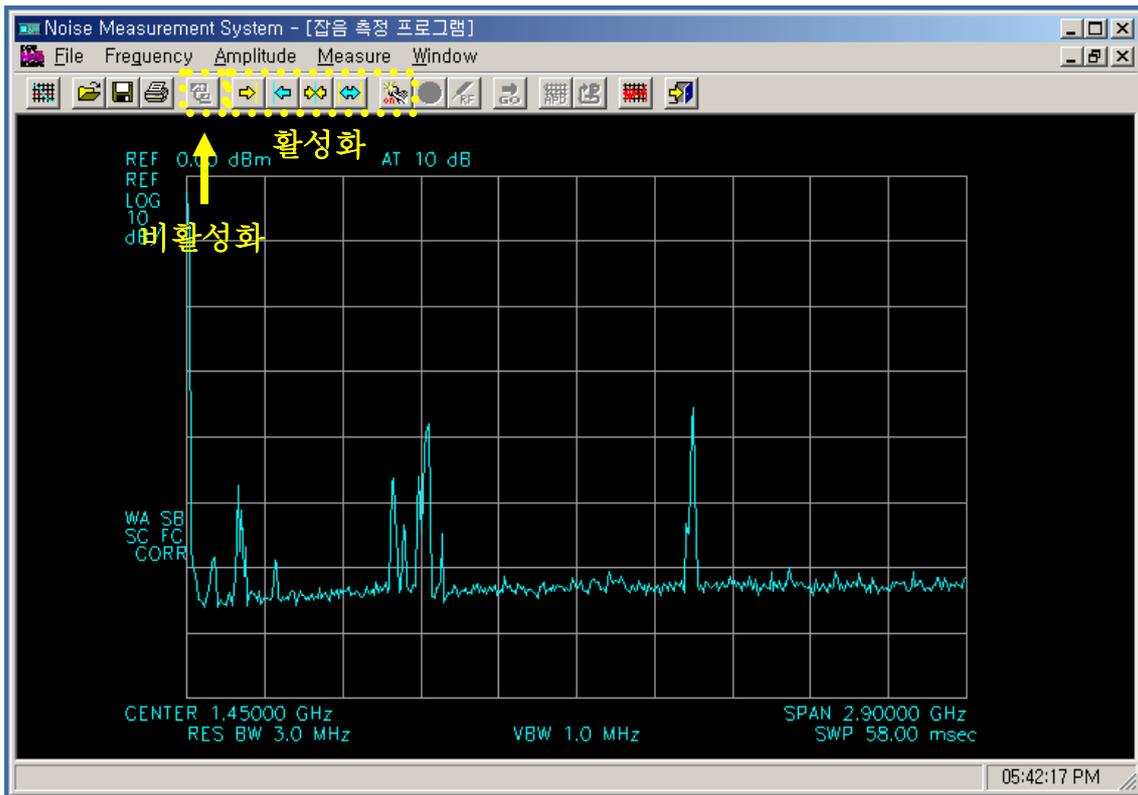
7. 스펙트럼 어널라이저 설정

[2. 컴퓨터 - 스펙트럼 어널라이저 인터페이스(GPIB 카드) 설치]에서 설명한 바와 같이, 잡음 측정 시뮬레이터를 사용하기 위해서는 컴퓨터와 스펙트럼 어널라이저 가 GPIB 카드를 통해서 서로 연결되어 있어야 한다. 연결된 스펙트럼 어널라이저는 잡음 측정 프로그램의 **File > Spectrum Setup** 메뉴를 선택하거나  을 클릭함으로써 초기화하거나 스펙트럼 어널라이저의 설정을 변경할 수 있다.



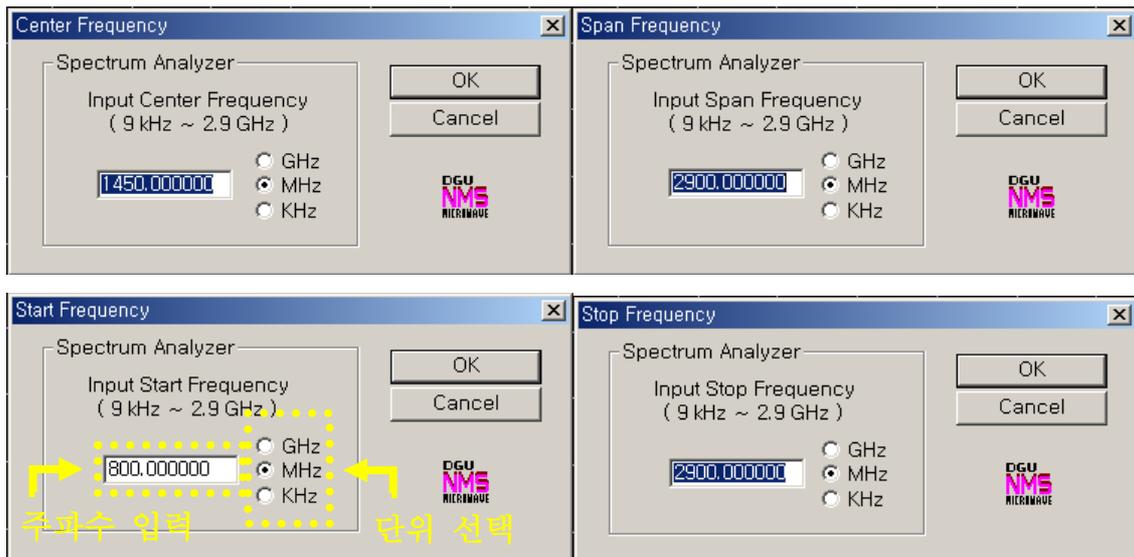
스펙트럼 어널라이저의 설정은 그림과 같이 card index, I/O timeout, address, termination 으로 구성되며, 각각의 항목에 대한 자세한 설명 및 설정 방법은 스펙트럼 어널라이저의 설명서를 참고하기 바란다.

스펙트럼 어널라이저를 초기화하지 않으면 다른 메뉴 및 아이콘은 비활성화 상태를 유지하게 되며 잡음 측정을 진행할 수 없다. 각각의 항목을 바르게 설정하여 스펙트럼 어널라이저를 초기화하면, 다음의 그림과 같이 스펙트럼 어널라이저의 디스플레이 창에 나타난 화면이 모니터 화면에 그대로 나타나게 된다. 그리고 스펙트럼 어널라이저를 설정하는 메뉴 및 아이콘은 비활성화 상태로 바뀌며, 스펙트럼 어널라이저를 제어하는 메뉴 및 아이콘들과 잡음 측정 주파수를 설정할 수 있는 메뉴 및 아이콘이 활성화 된다.

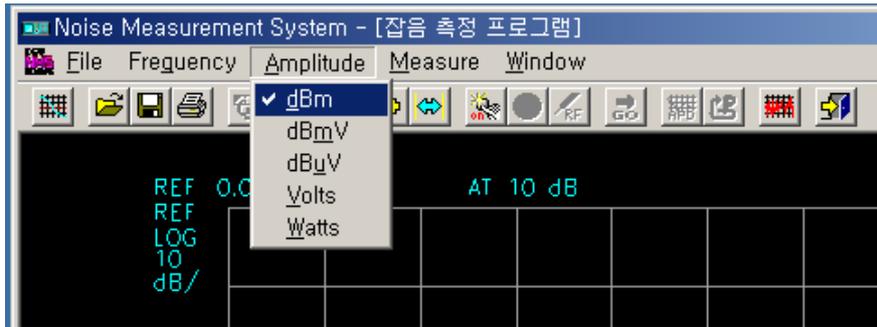


8. 스펙트럼 어널라이저 제어

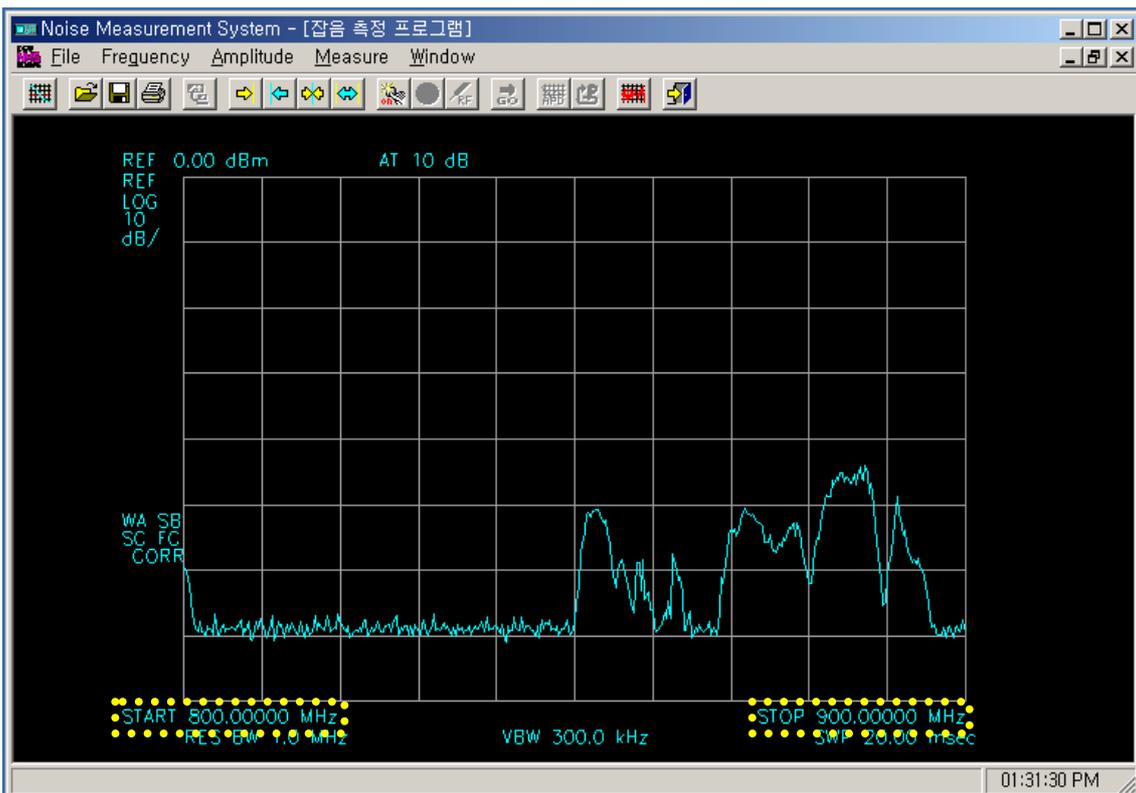
잡음 측정 프로그램에서 스펙트럼 어널라이저가 설정되면 스펙트럼 어널라이저의 제어는 프로그램에서 하게 되며 계측기 자체의 제어 및 설정 키는 동작하지 않는다. 스펙트럼 어널라이저의 주파수 제어는 다음의 그림과 같은 **Frequency** 메뉴의 **C**enter, **S**pan, **S**tart, **S**top 메뉴나 해당 아이콘(, , , )을 사용하게 된다. 스펙트럼 어널라이저의 주파수 설정과 동일한 방법으로 **C**enter 와 **S**pan 을 사용하거나 **S**tart 와 **S**top 을 사용해서 주파수를 설정한다.



그리고 스펙트럼 어널라이저의 크기 단위 설정은 다음의 그림과 같이 **A**mplitude 메뉴를 사용하여 **d**Bm, **d**BmV, **d**BuV, **V**olts, **W**atts 중에서 선택한다.



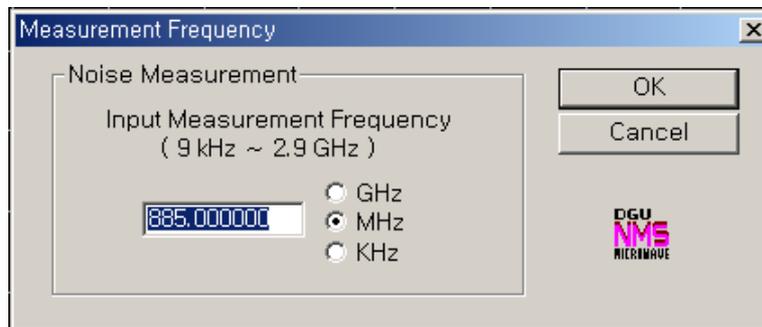
다음의 그림은 **Frequency** 메뉴의 **Start**, **Stop** 메뉴를 사용하여 스펙트럼 어널라이저의 주파수를 800MHz 에서 900MHz 의 대역으로 설정하고 **Amplitude** 메뉴의 **dBm** 을 선택하여 크기의 단위를 dBm 으로 설정한 것이다.



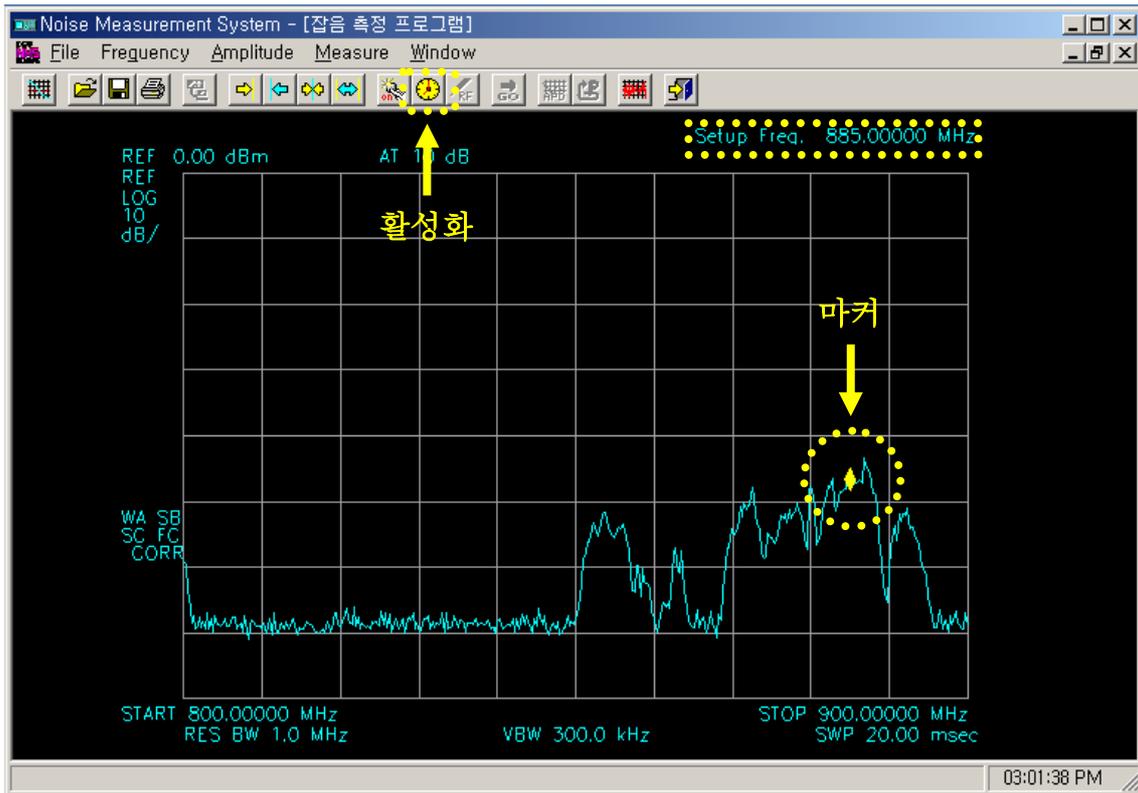
이 때, RES(resolution bandwidth), VBW(video bandwidth), SWP(sweep time) 등과 같은 스펙트럼 어널라이저의 다른 설정들은 주파수 설정에 따라 가장 최적의 측정을 할 수 있도록 자동으로 설정된다.

9. 잡음 측정 주파수 설정

스펙트럼 어널라이저의 설정이 완료되면, 다음 단계로 잡음을 측정하고자 하는 주파수를 설정한다. 잡음 측정 프로그램의 **Measure > Frequency** 메뉴를 선택하거나  를 클릭하면 다음과 같은 측정 주파수 설정 창이 나타나게 된다.

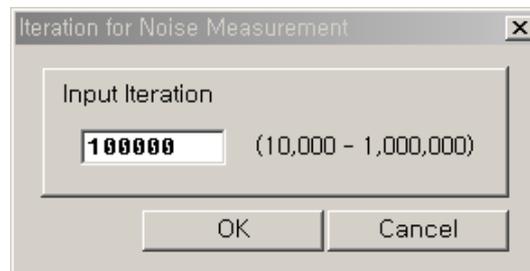


잡음 측정 주파수를 스펙트럼 어널라이저의 설정 주파수 대역내의 885 MHz 로 설정하면, 다음의 그림과 같이 모니터 상의 해당 주파수에 노란색 마커가 나타나게 되며 스펙트럼 어널라이저의 해당 주파수에도 마커가 생성된다. 또한 모니터 화면의 우측 상단에 『 Setup Freq. 885.00000 MHz 』 라는 표시가 나타나게 된다. 그리고 잡음 측정의 다음 단계인 반복 측정 횟수를 설정할 수 있는 **Measure > Iteration** 메뉴 및  이 선택될 수 있도록 활성화 된다.



10. 반복 측정 횟수 설정

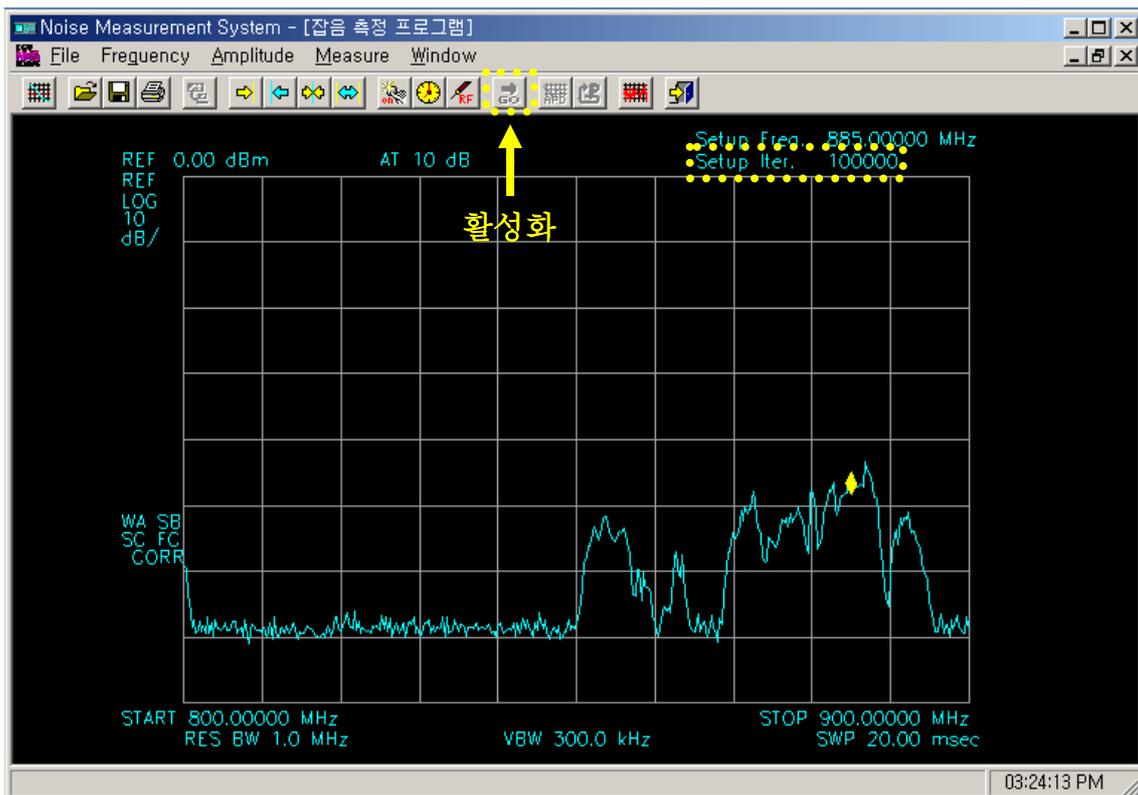
잡음 측정 주파수의 설정이 완료되면, 다음 단계로 잡음 측정의 반복 횟수를 설정한다. 잡음 측정의 이론과 같이 잡음은 매우 랜덤한 데이터이기 때문에 확률, 통계적 모형으로 처리하기 위해서 반복적인 측정을 시행해야 한다. 반복 측정 횟수를 설정하기 위해서는 **Measure > Iteration** 메뉴를 선택하거나  를 클릭하면 다음의 그림과 같은 창이 나타나게 된다.



반복 측정 횟수는 10,000 번에서 1,000,000 번까지 설정할 수 있으며, 더 정확한 잡음의 확률, 통계적 모형을 위해서는 최대한 많은 반복 횟수를 설정할 것을 권장한다. 그러나 반복 횟수가 많으면 많을수록 측정 시간이 증가하게 되므로 이 점을 고려하여 적당한 횟수를 설정하는 것이 좋다. 측정 시간은 스펙트럼 어널라이저의 성능과 관계되는 것으로 스펙트럼 어널라이저의 sweep time 을 작게 설정할 수 있는 계측기를 사용하면 측정 시간을 빠르게 할 수 있다. Sweep time 이 20ms (본 연구과제에서 사용한 HP 8594L 모델)인 스펙트럼 어널라이저의 경우 100,000 번 반복 측정하는데 걸리는 시간은 약 1 시간 20 분정도이다. 그리고 만약 어떠한

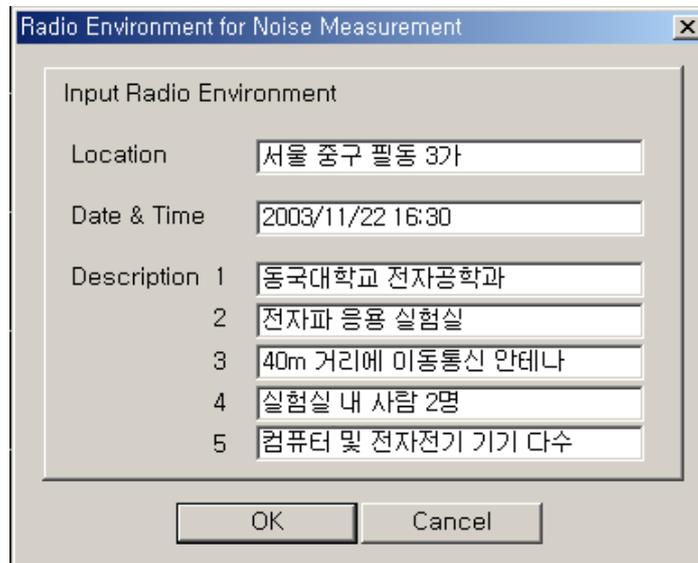
목적에 의해서 반복 측정 횟수를 10,000 번 이하로 설정하는 경우에는 최소 1,200 번 이상으로 설정해야 한다. 이것은 컴퓨터에 모니터에 데이터를 표시하기 위한 최소한의 횟수로 이 이하로 설정하면 잡음의 파형이 모니터에 표시되지 않게 된다.

다음의 그림은 반복 측정 횟수를 100,000 번으로 설정한 것이다. 반복 측정 횟수를 설정하면 모니터 화면의 우측 상단에 『 Setup Iter. 100,000 』 라는 표시가 나타나게 되며, 잡음 측정의 다음 단계인 측정 전파 환경을 기술할 수 있는 Measure > Environment 메뉴 및  이 선택될 수 있도록 활성화 된다.



11. 측정 전파 환경 기술

반복 측정 횟수의 설정이 완료되면, 다음 단계로 잡음을 측정하는 전파 환경을 기술한다. 측정 전파 환경을 기술하기 위해서는 **Measure > Environment** 메뉴를 선택하거나  를 클릭하면 다음의 그림과 같은 창이 나타나게 된다.



The image shows a dialog box titled "Radio Environment for Noise Measurement". It contains the following fields and text:

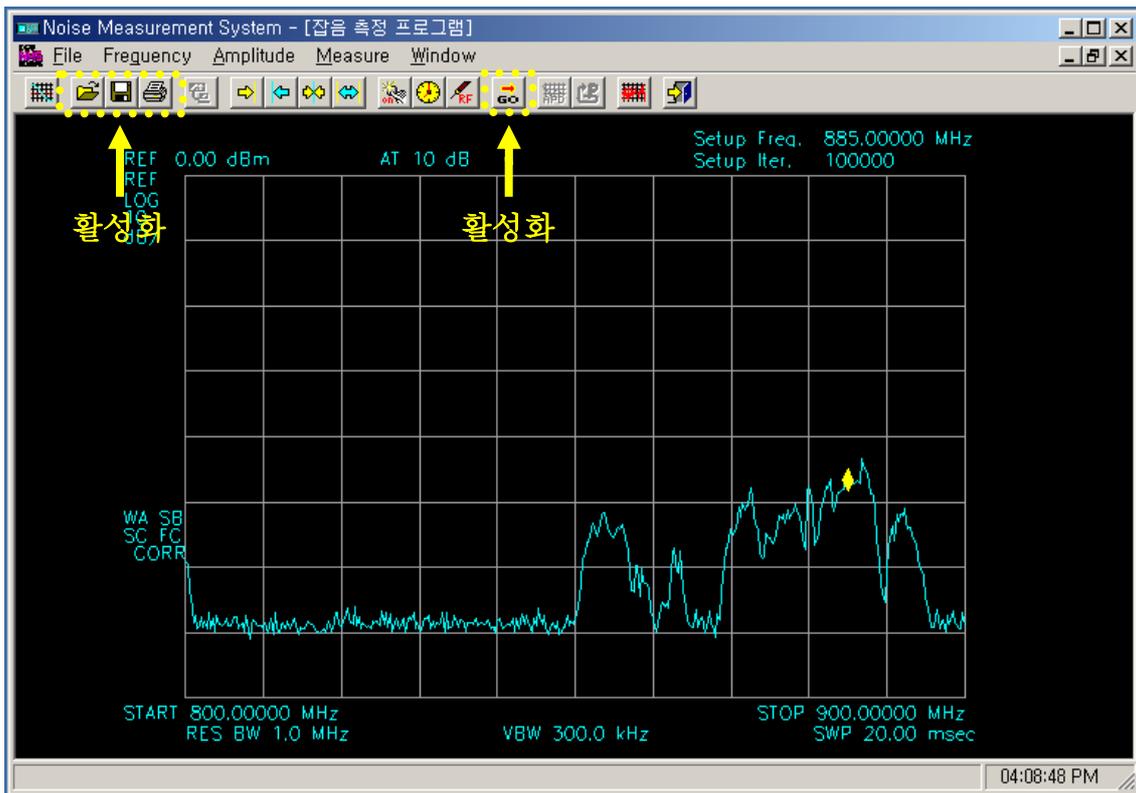
- Location: 서울 중구 필동 3가
- Date & Time: 2003/11/22 16:30
- Description 1: 동국대학교 전자공학과
- Description 2: 전자파 응용 실험실
- Description 3: 40m 거리에 이동통신 안테나
- Description 4: 실험실 내 사람 2명
- Description 5: 컴퓨터 및 전자전기 기기 다수

Buttons: OK, Cancel

측정 전파 환경 기술은 잡음의 측정하는 전파 환경에 대하여 위치, 날짜 및 시간, 특이 사항을 기술할 수 있도록 되어 있다. 이렇게 기술된 사항은 컴퓨터 모니터 상에는 표시되지 않지만 잡음 측정 프로그램의 마지막 단계에서 추출된 파라미터를 저장할 때 전파 환경에 대한 사항도 함께 저장되도록 프로그램되어 있다. 이 저장된 전파 환경은 확률모형 복원 프로그램에서 파일을 열면 잡음의 통계적 모형과 함께 컴퓨터 모니터 상에

표시된다.

다음의 그림은 측정 전과 환경을 기술을 실행한 것으로 잡음 측정의 다음 단계인 잡음 측정을 시작할 수 있는 **Measure > Measurement Start** 메뉴 및  이 선택될 수 있도록 활성화 된다. 그리고 이 단계까지는 설정된 주파수 대역내의 스펙트럼 데이터, 즉 모니터에 표시된 데이터를 spectrum file(*.saf) 형식으로 저장(**File > Save As** 메뉴,  아이콘)하거나, 저장된 spectrum file(*.saf) 형식의 파일을 열고(**File > Open** 메뉴,  아이콘), 그리고 모니터 화면을 인쇄(**File > Print** 메뉴,  아이콘) 할 수 있도록 해당 메뉴 및 아이콘이 활성화 된다.



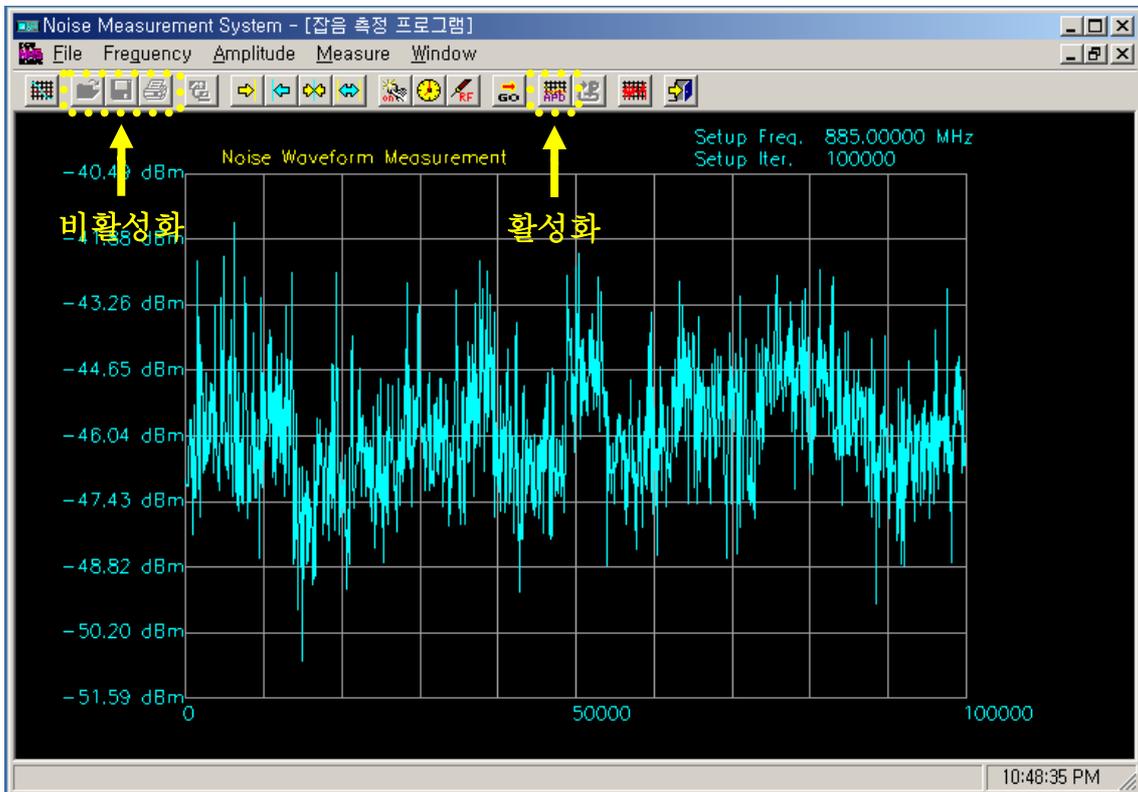
12. 잡음 측정 시작

측정 전과 환경 기술이 완료되면 잡음 측정을 위한 설정 단계가 모두 끝난 상태이다. 그러므로 다음 단계로 잡음을 측정하는 **Measure >** **Measurement Start** 메뉴를 선택하거나  를 클릭하여 잡음 측정을 시작하면 된다. 스펙트럼 어널라이저의 성능과 반복 측정 횟수에 따라 소요되는 측정 시간을 결정하게 된다. 이 잡음 측정 시작 단계에서는 스펙트럼 어널라이저가 측정한 방대한 양의 데이터를 컴퓨터에 빠르게 보내서 임시 메모리에 저장하게 되므로 컴퓨터는 많은 리소스를 사용하게 되므로 스펙트럼 어널라이저가 연결된 컴퓨터에서 다른 작업을 하는 것은 측정 데이터의 에러를 발생시킨다. 이것은 컴퓨터의 메모리(RAM) 성능을 개선하면 해결할 수 있다.

다음의 그림은 동국대학교 전자공학과와 실험실에서 오후 4 시 30 분(측정 전과 환경에 기타 사항 기술)에 측정한 885MHz 의 잡음을 100,000 번 반복 측정하여 나타낸 것이다. 컴퓨터 모니터에 표시된 잡음 파형은 100,000 번 중에서 일정 간격으로 1,200 번을 발췌하여 표시한 것으로 컴퓨터 메모리에는 반복 측정 횟수만큼 저장되어 있으므로 다음 단계인 APD 계산에는 100,000 번의 데이터를 가지고 실행하게 된다. 앞서서도 언급한 바와 같이 잡음의 데이터는 매우 랜덤하기 때문에 잡음 파형은 잡음의 특성을 파악하는 데는 아무런 의미도 없게 된다. 그러므로 100,000 번 중에 1,200 번만을 표시하는 것은 문제가 되지 않는다.

이 단계 역시 완료되면, 잡음 측정의 다음 단계인 잡음의 확률, 통계적

모형 (APD) 을 계산하여 모니터에 표시하는 **Measure > APD Calculate** 메뉴 및  이 선택될 수 있도록 활성화 된다. 그리고 이 단계부터는 데이터를 저장(**File > Save As** 메뉴,  아이콘)하거나, 저장된 파일을 열고(**File > Open** 메뉴,  아이콘), 그리고 인쇄(**File > Print** 메뉴,  아이콘) 하는 메뉴 및 아이콘은 필요에 따라 활성화 된다. 앞에서 언급했듯이 잡음의 파형은 잡음을 확률, 통계적 모형으로 처리하기 위한 중간 단계로 큰 의미가 없는 데이터이기 때문에 저장, 열기, 인쇄할 필요가 없으므로 해당 메뉴 및 아이콘은 활성화 되지 않는다.



13. 확률, 통계적 모형 계산

잡음의 측정이 완료되면, 다음 단계로 측정된 잡음 데이터를 확률, 통계적 모형(APD)으로 표시해야 한다. 이것은 **Measure > APD Calculate** 메뉴를 선택하거나  를 클릭하면 실행되게 된다.

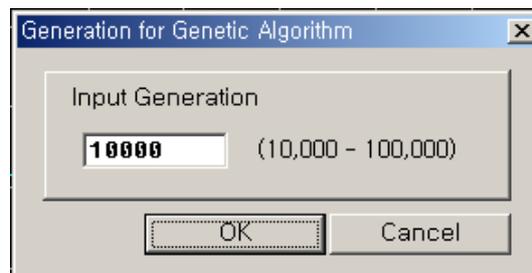
다음의 그림은 전 단계에서 측정된 잡음 데이터를 APD 로 계산하여 모니터에 표시한 것이다. 모니터 상의 x 축은 확률(%)를 나타내며 y 축은 전파 잡음의 크기(dBm)를 나타내는 것으로, 그래프의 의미는 측정된 전파 환경하에서 885MHz 주파수를 갖는 잡음의 크기는 -46.04dBm 를 넘을 확률이 50% 라는 것을 의미한다.

전 단계와 마찬가지로 APD 계산이 완료되면, APD 곡선으로부터 파라미터를 추출하여 모니터에 표시하는 **Measure > Parameters Extract** 메뉴 및  이 선택될 수 있도록 활성화 된다.



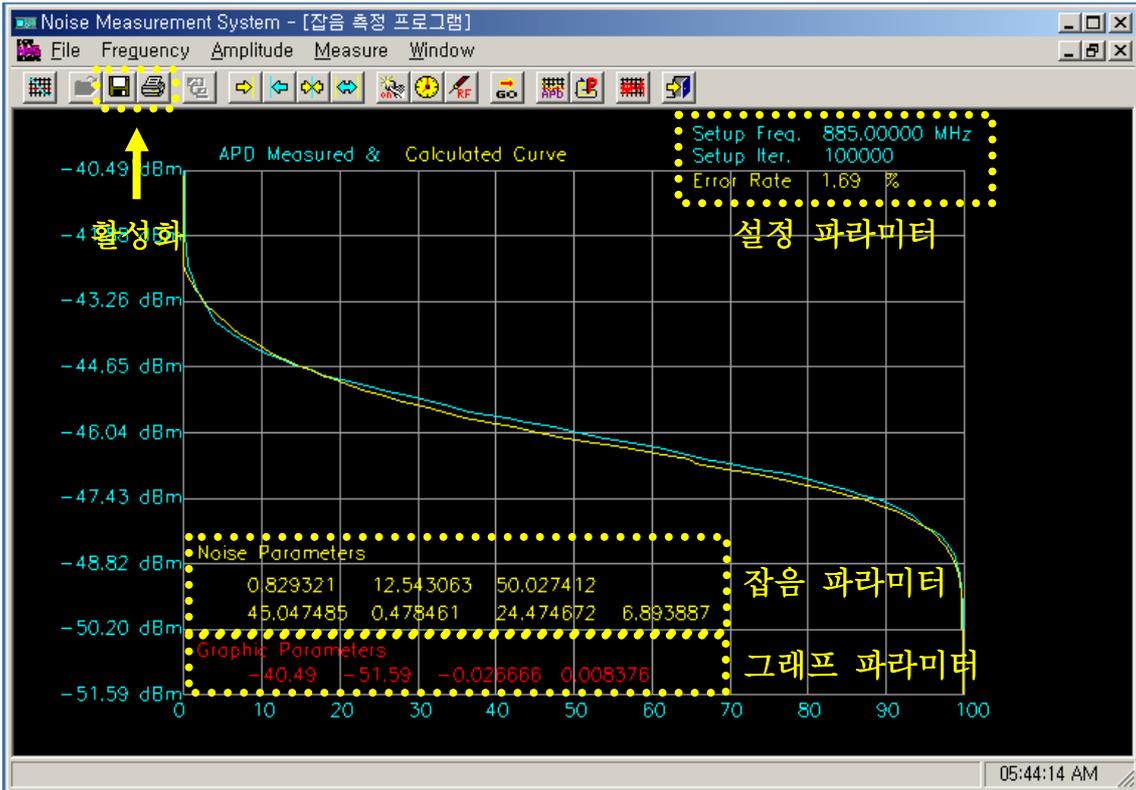
14. 파라미터 추출

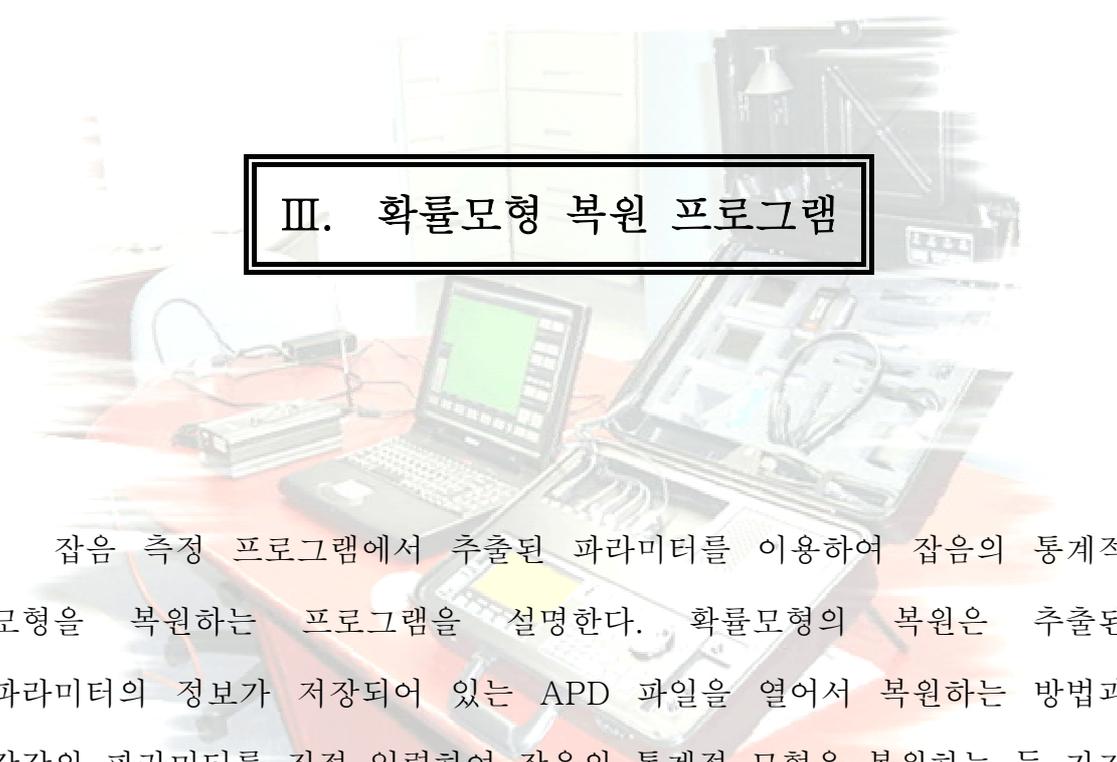
잡음의 통계적 모형 처리가 완료되면, 다음 단계로 처리된 통계적 모형으로부터 파라미터를 추출하는 과정이 필요하다. 이것은 잡음 측정 프로그램의 마지막 단계로 여기서 추출된 파라미터는 나중에 통계적 모형 복원에 사용한다. 파라미터 추출은 **Measure > Parameters Extract** 메뉴를 선택하거나  를 클릭하면 다음과 같은 대화창이 열리게 된다. 이 대화창은 파라미터 추출 알고리즘으로 사용하는 유전자 알고리즘(genetic algorithm)에서 사용하는 세대수(generation)를 설정하는 것으로, 많은 세대수를 설정할수록 더욱 정확한 파라미터 추출이 가능하게 된다. 세대수는 최소 10,000 번을 권장하고 있으며(에러율 3~4%), 100,000 번을 시행하는 경우 1% 내외의 에러율이 발생하게 된다. 그러나 파라미터 추출 과정의 처리 시간은 유전자 알고리즘의 세대수와 컴퓨터의 처리 능력에 비례하며, 펜티엄 3 급 CPU-733MHz 컴퓨터의 경우 100,000 번 시행에 약 5 시간이 소요된다. 이 처리 시간은 컴퓨터의 성능을 업그레이드함으로써 단축할 수 있다.



다음의 그림은 유전자 알고리즘의 세대수를 100,000 번으로 설정하여 파라미터 추출을 실행한 그림이다. 그림에서 보는 바와 같이, 지금까지 잡음을 측정하여 통계적 모형으로 처리한 APD 곡선과 추출된 파라미터로 계산한 APD 곡선을 서로 비교하여 나타내고 있다. 파라미터들은 측정 주파수 및 전파 환경에 대한 정보를 갖고 있는 설정 파라미터, APD 곡선을 그리기 위한 최대, 최소값 및 그래프의 보정값에 대한 그래프 파라미터, 측정된 잡음과 동일한 APD 곡선을 그리기 위한 잡음 파라미터의 3 가지로 분류되어 저장된다. 또한 에러율은 측정, 처리된 APD 곡선과 파라미터에 의해 계산된 APD 곡선의 차이를 나타내는 수치로 5%까지의 에러율을 허용할 수 있다.

그리고 파라미터 추출이 완료되면 추출된 파라미터를 저장하거나 인쇄할 필요가 있기 때문에, 이러한 데이터를 APD file(*.apd) 형식으로 저장(**File > Save As** 메뉴,  아이콘)하거나 모니터 화면을 인쇄(**File > Print** 메뉴,  아이콘)할 수 있는 메뉴 및 아이콘이 활성화 된다.



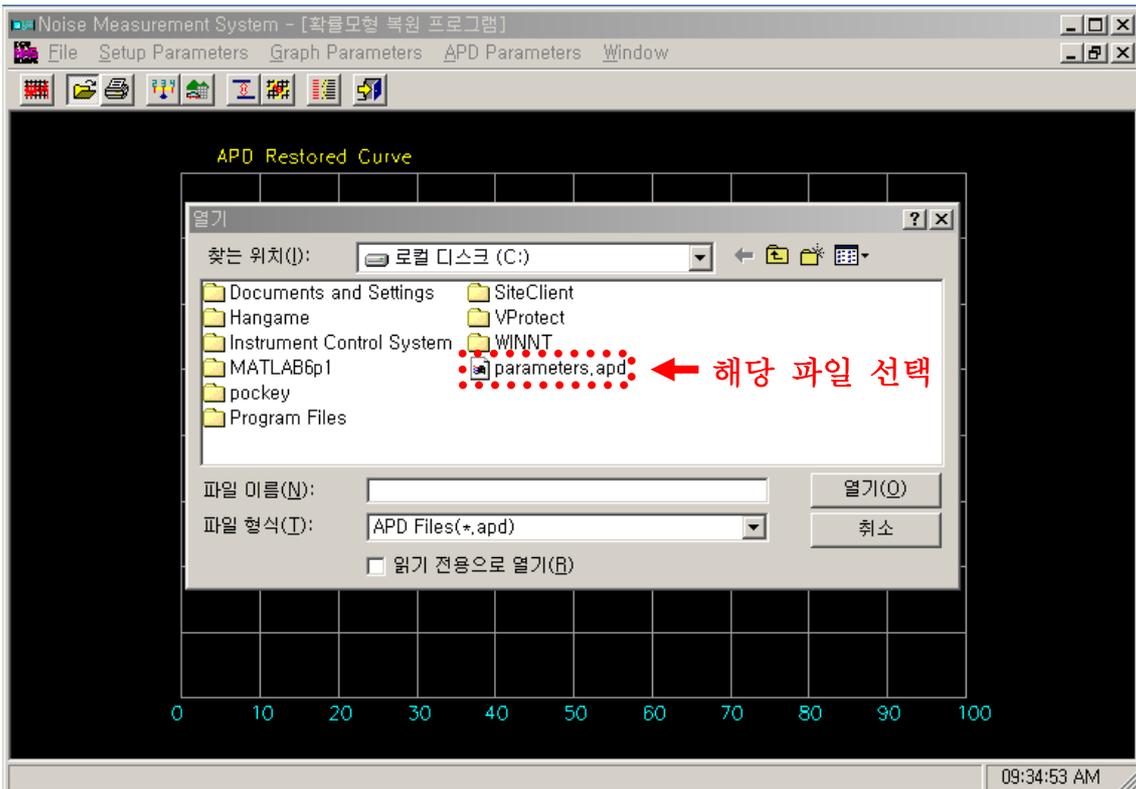


Ⅲ. 확률모형 복원 프로그램

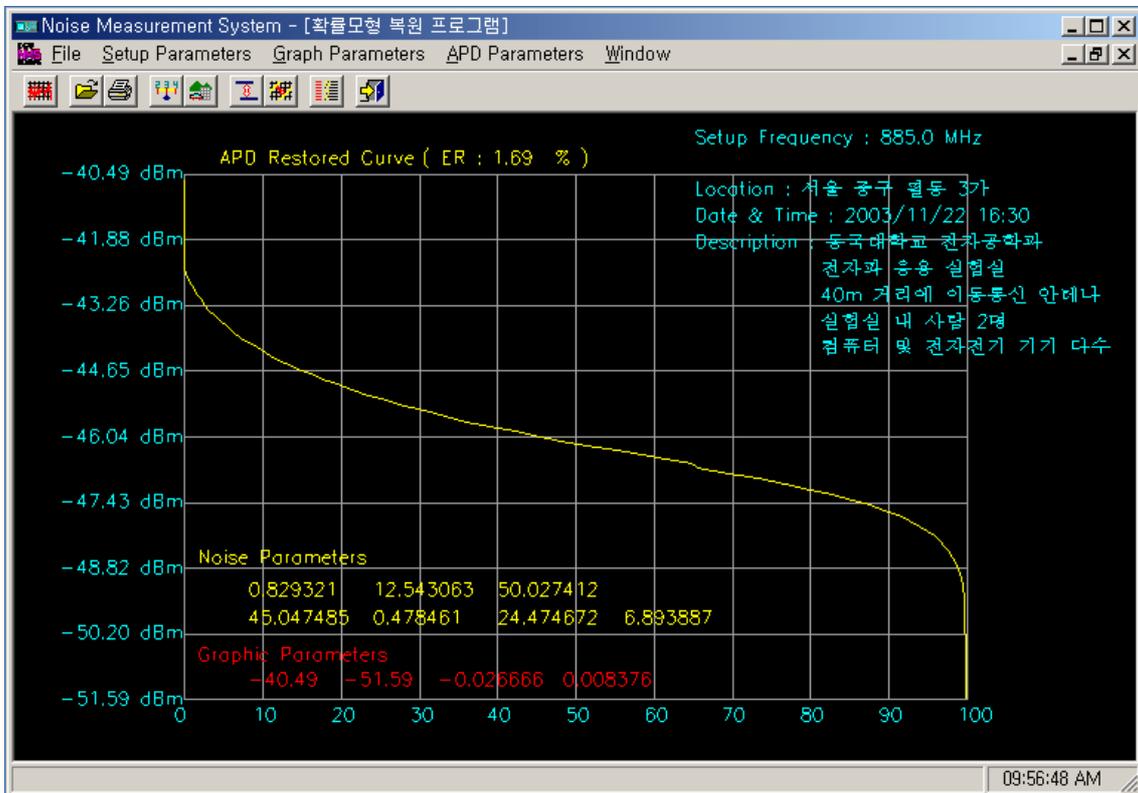
잡음 측정 프로그램에서 추출된 파라미터를 이용하여 잡음의 통계적 모형을 복원하는 프로그램을 설명한다. 확률모형의 복원은 추출된 파라미터의 정보가 저장되어 있는 APD 파일을 열어서 복원하는 방법과 각각의 파라미터를 직접 입력하여 잡음의 통계적 모형을 복원하는 두 가지 방법이 있다.

15. 저장된 APD 파일 (*.apd) 열기

잡음 측정 프로그램에서 파라미터 추출 후, 여러 파라미터에 대한 데이터를 APD file (*.apd) 형식으로 저장하였다. 그러므로 이 파일을 확률모형 복원 프로그램에서 열어서 잡음의 통계적 모형을 복원할 수 있다. 파라미터 저장 파일(*.apd)를 열기 위해서 확률모형 복원 프로그램의 **File > Open** 메뉴를 선택하거나  을 클릭하면 다음의 그림과 같은 열기 창이 나타난다.

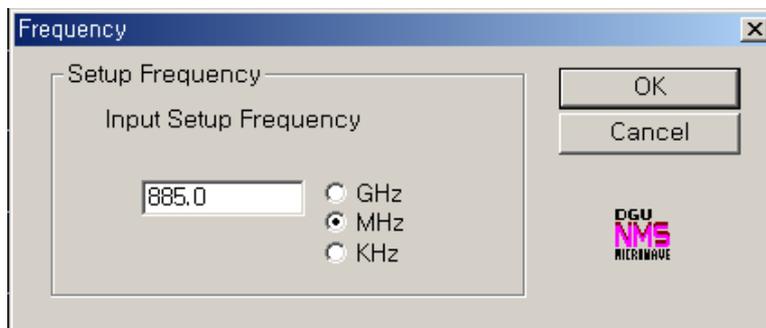


해당 파일(parameters.apd)을 열면 다음의 그림과 같은 잡음의 통계적 모형(APD)이 복원된다. 복원된 잡음의 APD 는 『 14. 파라미터 추출 』 과정에서 계산된 APD 와 동일한 데이터로서, 실제 잡음을 측정하여 처리된 APD 와는 1.69%의 차이를 나타낸다는 것을 의미한다. 또한 측정 주파수 및 전파 환경 정보의 설정 파라미터 및 잡음 파라미터와 그래프 파라미터를 모두 모니터에 표시하여, 모니터 화면을 인쇄(**File > Print** 메뉴,  아이콘)하는 경우 모든 정보가 함께 인쇄된다.

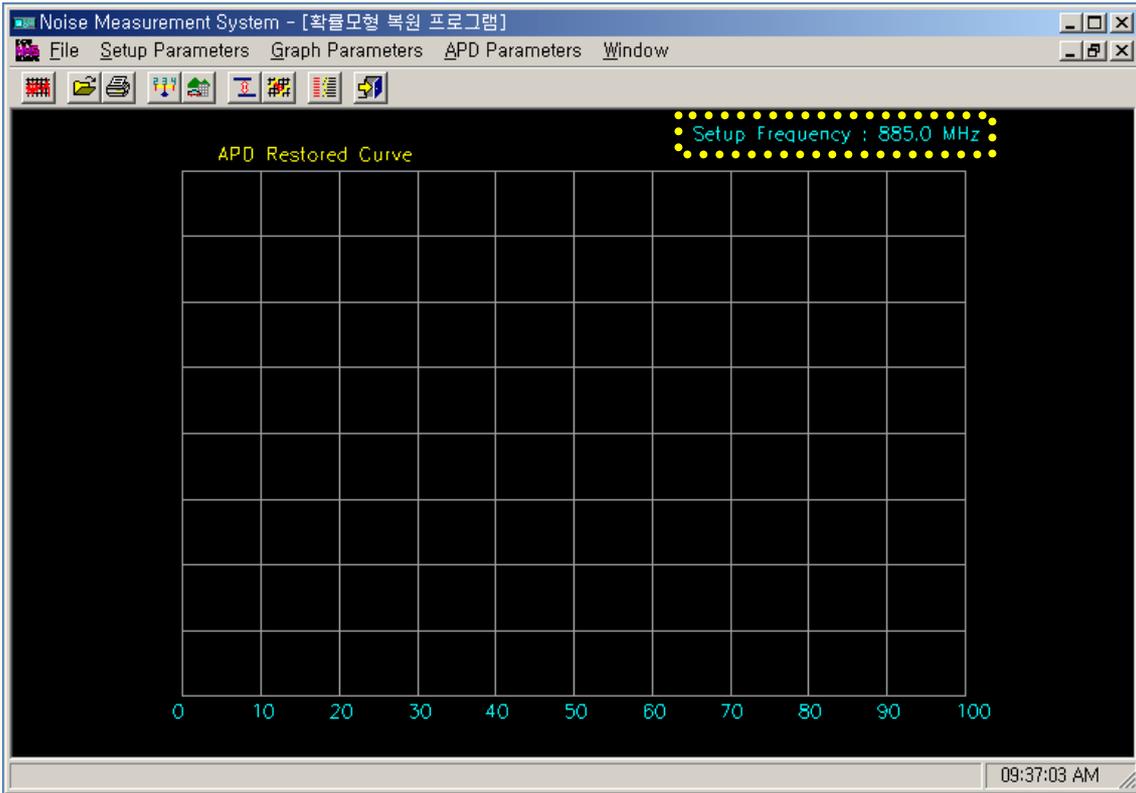


16. 잡음 측정 주파수 입력

『 16. 잡음 측정 주파수 입력 』부터 『 20. 잡음 파라미터 입력 』 과정은 확률모형 복원 프로그램에 파라미터를 직접 입력하여 잡음의 통계적 모형을 복원하는 과정을 설명한 것이다. 복원을 위한 파라미터는 크게 잡음 측정 주파수 및 전파 환경의 설정 파라미터, 데이터의 최대, 최소값 및 x, y 축 보정값의 그래프 파라미터, 통계적 모형(APD)을 계산하기 위한 잡음 파라미터의 세가지로 구분된다. 이러한 파라미터 입력의 첫번째 단계는 설정 파라미터 중에서 잡음을 측정한 주파수를 입력하는 것으로, 이 과정은 **Setup Parameters > Frequency** 메뉴를 선택하거나  을 클릭하면 다음과 같은 입력창이 생성되게 된다.



잡음 측정 주파수에 885.0 MHz 를 입력하고 실행하면 다음의 그림과 같이 모니터 화면 우측 상단에 『 Setup Freq. 885.0 MHz 』 라는 표시가 나타나게 된다.



17. 측정 전파 환경 입력

잡음 측정 주파수의 입력이 완료된 후, 파라미터 입력의 다음 단계는 잡음을 측정한 전파 환경을 입력하는 것으로 『 11. 측정 전파 환경 기술 』 과 같은 항목을 입력하면 된다. 측정 전파 환경의 입력은 **Setup Parameters > Environment** 메뉴를 선택하거나  을 클릭하면 다음과 같은 입력창이 생성되게 된다.

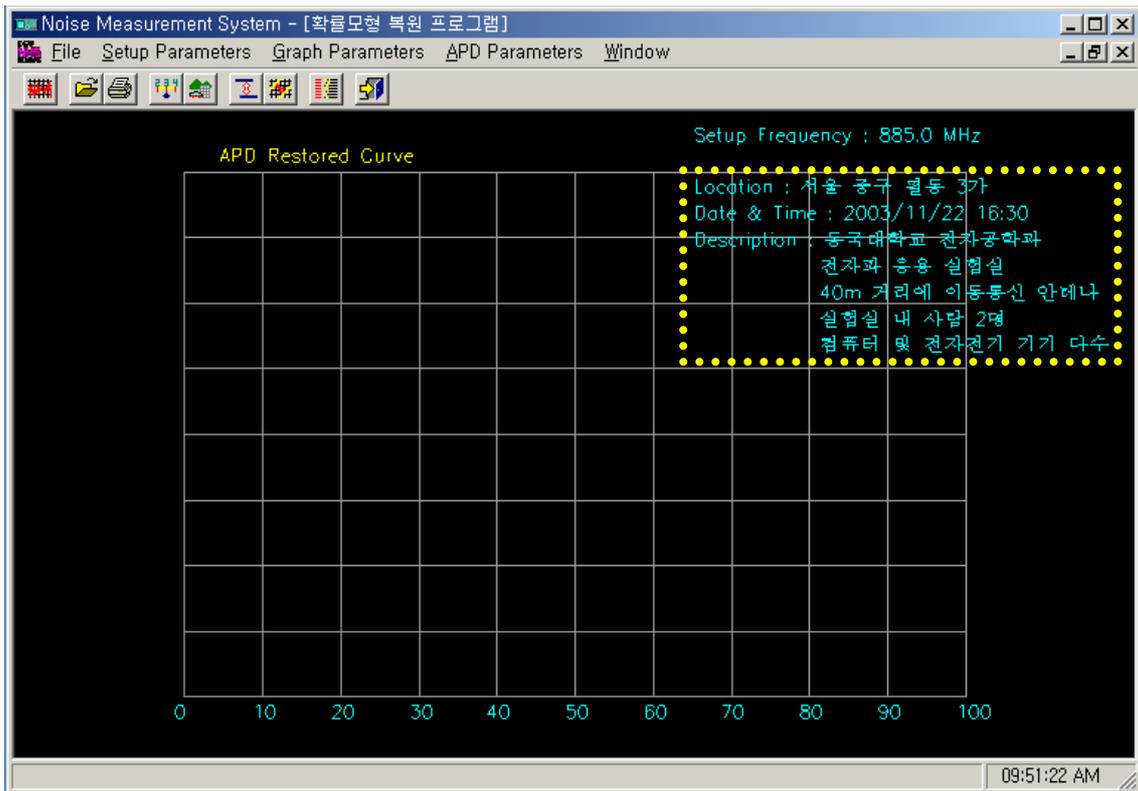


The image shows a dialog box titled "Radio Environment" with a close button (X) in the top right corner. The dialog contains the following fields:

- Location:** 서울 중구 필동 3가
- Date & Time:** 2003/11/22 16:30
- Description 1:** 동국대학교 전자공학과
- Description 2:** 전자파 응용 실험실
- Description 3:** 40m 거리에 이동통신 안테나
- Description 4:** 실험실 내 사람 2명
- Description 5:** 컴퓨터 및 전자전기 기기 다수

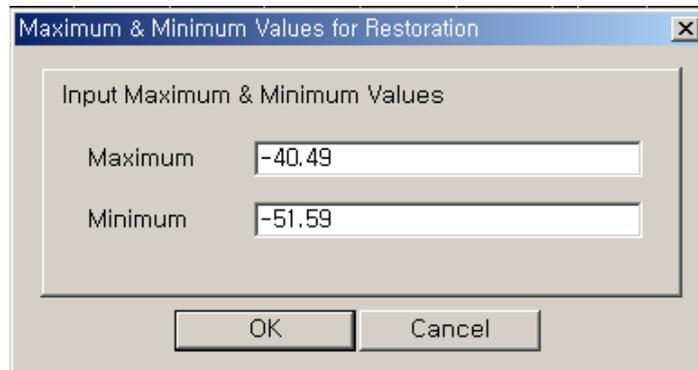
At the bottom of the dialog are two buttons: "OK" and "Cancel".

측정 전파 환경을 위의 그림과 같이 입력하여 실행한 결과는 다음의 그림과 같다. 전파 환경에 대한 정보가 모니터 화면의 우측 상단에 표시된다.

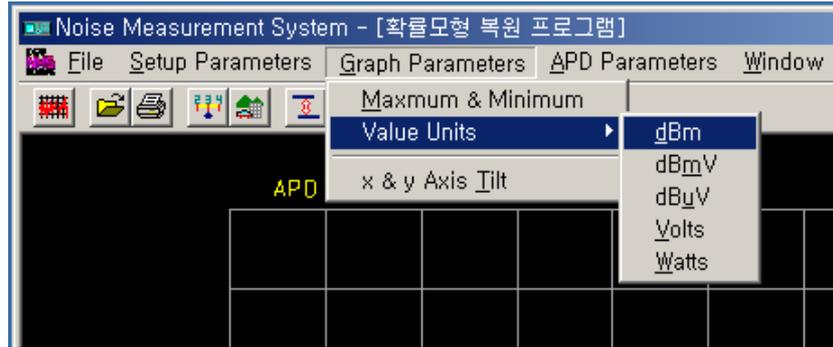


18. 최대, 최소값 입력

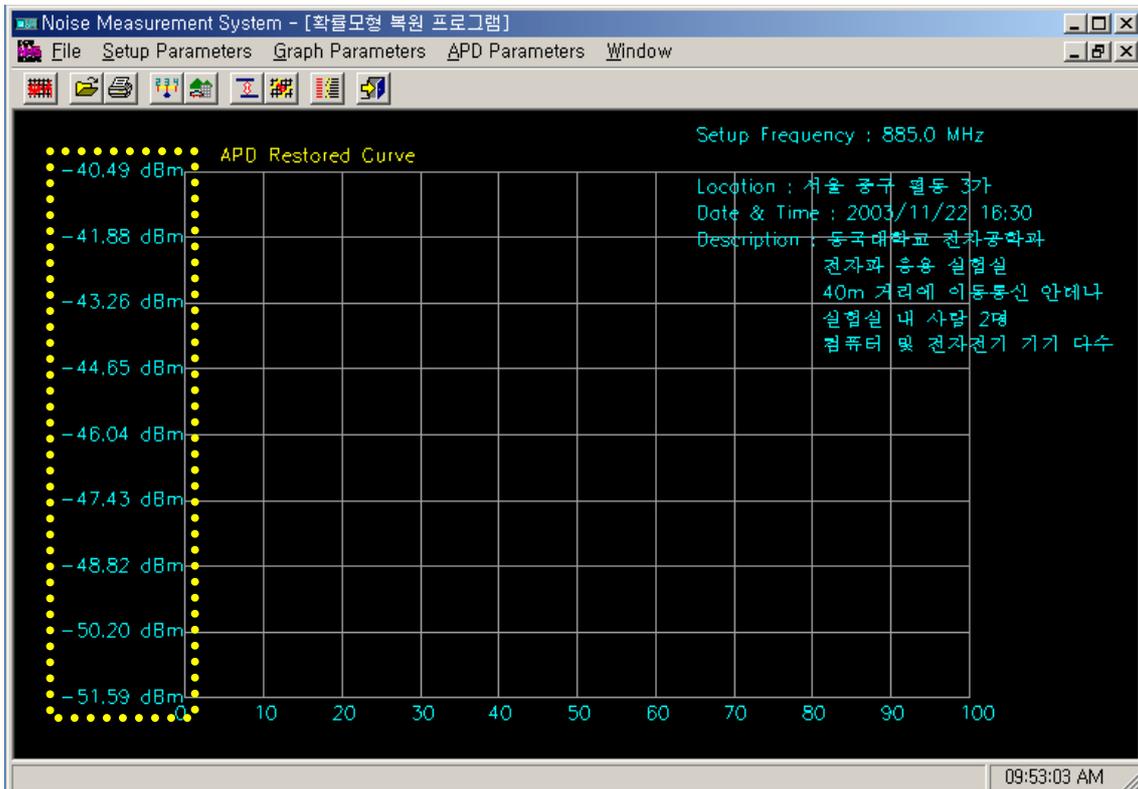
측정 전파 환경의 입력이 완료된 후, 파라미터 입력의 다음 단계는 그래프 파라미터를 입력하는 것으로 그 중에서 먼저 잡음 데이터의 최대, 최소값을 입력하는 것이다. 이 과정은 **Graph Parameters > Maximum & Minium** 메뉴를 선택하거나  을 클릭하면 다음과 같은 입력창이 생성되게 된다.



데이터의 최대, 최소값을 위의 그림과 같이 입력한 후 실행하면 모니터 화면은 아무런 변화도 일어나지 않는다. 그 다음의 과정으로 최대, 최소값의 단위를 설정해야 하면 다음의 그림과 같이, **Graph Parameters > Value Units** 의 **dBm**, **dBmV**, **dBuV**, **Volts**, **Watts** 메뉴 중에서 해당하는 단위를 선택한다.



데이터의 최대, 최소값을 입력하고 단위를 설정하면, 다음의 그림과 같이 그래프의 y 축에 잡음 데이터 값이 분할되서 표시된다.

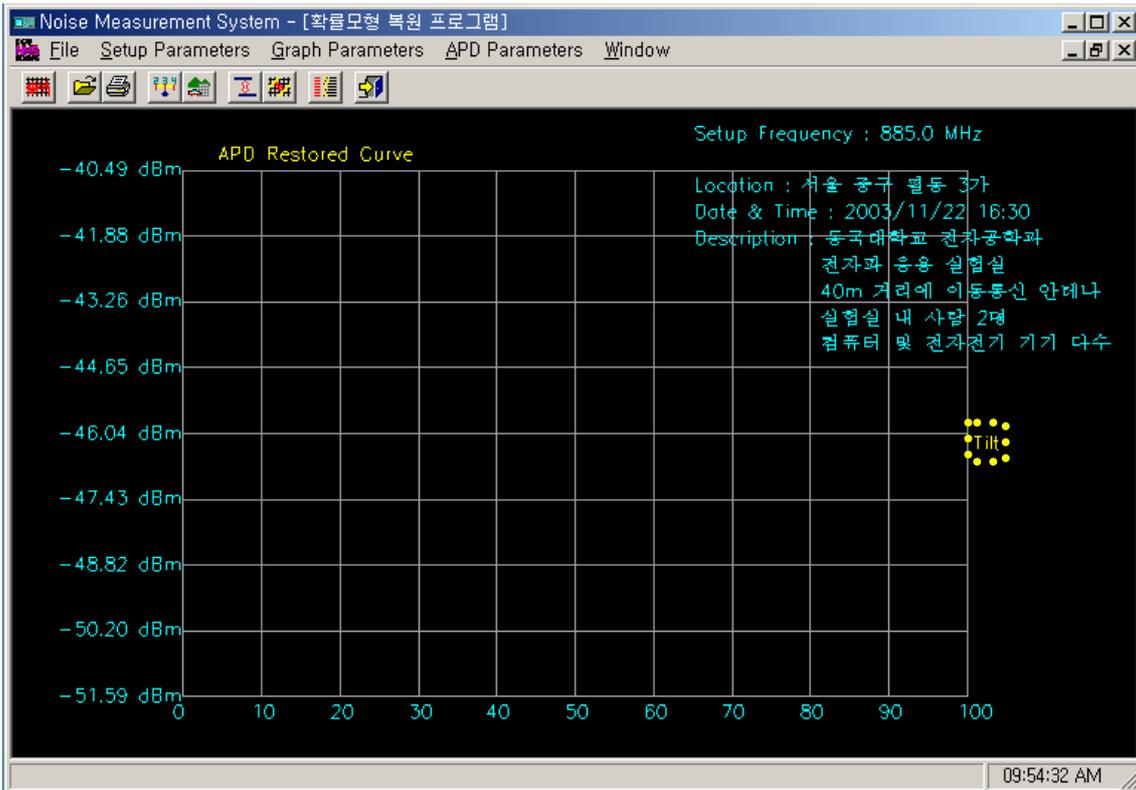


19. 그래프 x, y 축 보정값 입력

데이터 최대, 최소값 및 단위의 입력을 완료한 후, 다음 단계는 그래프의 x, y 축 보정값을 입력하는 것이다. 이 과정은 **Graph Parameters > x & y Axis Tilt** 메뉴를 선택하거나  을 클릭하면 다음과 같은 입력창이 생성되게 된다.

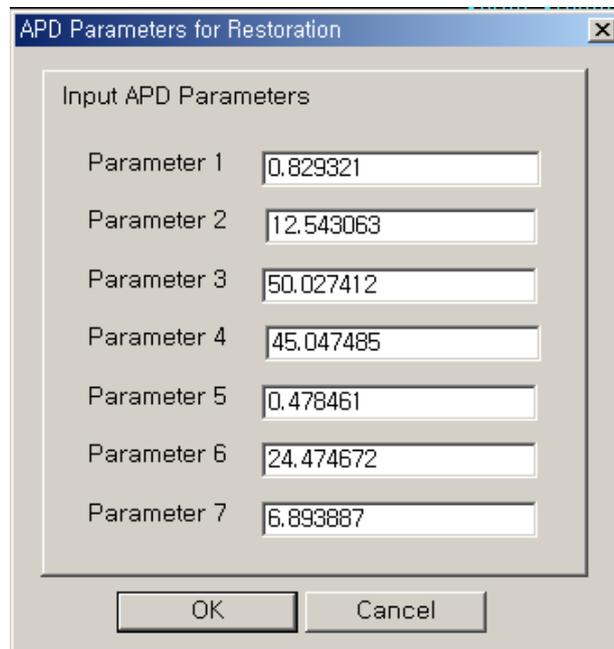


그래프의 x, y 축 보정값을 입력하면, 다음의 그림과 같이 보정값을 입력했다는 표시로 모니터 화면의 우측 중간에 『 Tilt 』 표시가 나타난다.



20. 잡음 파라미터 입력

그래프 x, y 축 보정값의 입력을 완료한 후, 다음 단계이면서 파라미터 입력의 마지막 단계는 잡음의 통계적 모형(APD)을 계산하기 위한 잡음 파라미터를 입력하는 것이다. 이 과정은 **APD Parameters** 메뉴를 선택하거나  을 클릭하면 다음과 같은 입력창이 생성되게 된다.



The image shows a dialog box titled "APD Parameters for Restoration". It contains a section labeled "Input APD Parameters" with seven input fields, each labeled "Parameter 1" through "Parameter 7". The values entered in the fields are: Parameter 1: 0.829321, Parameter 2: 12.543063, Parameter 3: 50.027412, Parameter 4: 45.047485, Parameter 5: 0.478461, Parameter 6: 24.474672, and Parameter 7: 6.893887. At the bottom of the dialog box are "OK" and "Cancel" buttons.

Parameter	Value
Parameter 1	0.829321
Parameter 2	12.543063
Parameter 3	50.027412
Parameter 4	45.047485
Parameter 5	0.478461
Parameter 6	24.474672
Parameter 7	6.893887

위의 그림과 같이 잡음 파라미터 7 개를 입력한 후 실행하면, 다음의 그림과 같이 잡음의 통계적 모형(APD)이 계산되어 모니터 화면에 표시된다. 또한 잡음 파라미터를 입력했다는 표시로 모니터 화면의 우측 중간에 『 Para 』 표시가 나타난다.

여러 파라미터를 직접 입력하여 복원된 통계적 모형(APD)은 『 14. 파라미터 추출 』 과정에서 계산된 APD 와 동일하며, 또한 『 15. 저장된 APD 파일 (*.apd) 열기 』 과정에서 파일을 열어서 복원한 APD 곡선과도 동일하다. 이것은 저장된 파라미터와 지금까지 입력된 파라미터가 동일하기 때문이다. 파라미터를 직접 입력하여 잡음의 통계적 모형을 복원하는 과정에서도 모니터 화면을 인쇄(**File > Print** 메뉴,  아이콘)하는 기능을 가지고 있다.

